



Universidad
Carlos III de Madrid

Ingeniería Industrial
Departamento de Ingeniería Mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

Mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales en Verín

Autor: Antía Cid Hervella
Tutor: Efrén Díez Jiménez

Leganés, Julio 2014

Título: Estudio de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales en Verín

Autor: Antía Cid Hervella

EL TRIBUNAL

_____	Presidente:
_____	Vocal:
_____	Secretario:

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día ____ de _____ de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Quiero agradecer este proyecto fin de carrera:

A mi familia, en especial a mis padres por el esfuerzo que han hecho durante tantos años para facilitarme todo aquello que he necesitado y por todo el apoyo que me han prestado durante toda mi vida y que me ha permitido llegar a donde estoy hoy.

A mi hermana María porque siempre sabe cómo sacarme una sonrisa aunque sea en la distancia. También a mis abuelos por estar ahí en cualquier circunstancia.

A Pablo por todos los consejos que me ha dado y la paciencia que ha tenido mientras terminaba este proyecto.

A Placido por todo el apoyo y la ayuda recibida durante estos años.

A mis amigas por estar siempre ahí cuando necesitaba reírme, desahogarme o tomarme un café y desconectar.

A la Universidad Carlos III en especial a Julio Álvarez por la formación recibida y toda la ayuda prestada para que este proyecto haya sido posible.

Y por último a todas aquellas personas que se han cruzado en mi vida a los que me han apoyado y hecho feliz y a los que no lo han hecho tanto porque me han ayudado a ser lo que soy.

Resumen

El objeto de este proyecto es analizar el estado de las instalaciones necesarias para la depuración de las aguas residuales procedentes del municipio de Verín (Ourense). El estudio se centrará en el análisis de la situación actual de la planta existente y las mejoras necesarias en la misma para que su funcionamiento se ajuste a la normativa actual, minimizando así los riesgos de seguridad y salud y medioambientales existentes. Además se tratará de minimizar el volumen de desechos generados por la planta depuradora de aguas residuales mediante la valorización de los mismos.

En la actualidad la depuradora de aguas residuales de Verín vierte directamente al Río Támega, afluente del Duero, con un contenido en contaminantes superior al permitido, provocando graves daños en el ecosistema de las aguas, así como molestias debidas a los malos olores en los vecinos de la zona. Estas aguas residuales poseen un alto poder contaminante debido a su elevada carga de fosfatos, todo ello constituye un problema medioambiental que ha de ser subsanado mediante un sistema de depuración eficaz.

Las mejoras estudiadas en este proyecto son aquellas que permiten un tratamiento de las aguas residuales urbanas, con el fin de llegar a una eliminación de todos los vertidos producidos, de forma que se consiga el grado de depuración necesario, hasta cumplir los límites fijados por la Directiva del Consejo de la Unión Europea, sobre Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas y el aprovechamiento de residuos para reducir el impacto ambiental y económico derivado de su gestión y depósito en verteros.

El contenido del proyecto se divide en tres partes, en la primera se desarrolla una introducción y se exponen los conceptos básicos sobre la depuración de aguas residuales. En la segunda parte se desarrolla el estudio de la situación actual de la depuradora y se proponen las mejoras necesarias para su correcto funcionamiento. En la tercera y última parte se realiza el diseño del sistema de digestión y cogeneración que se implantará en la depuradora para llevar a cabo la valorización energética de los lodos.

Palabras clave: Estación depuradora de aguas residuales, EDAR, Cogeneración, contaminación de aguas, Verín, Río Támega,

Abstract

The aim of this project is to analyze the condition of Verín's waste water treatment facilities. The study will focus on the analysis of the current condition of the existing plant and the necessary improvements on it to suit the current regulations, minimizing the health and safety risks as well as the environmental ones. In addition the volume of waste generated by the wastewater treatment plant should be minimized through the valorisation of them.

At the present time the wastewater treatment plant directly discharged into the Tamega River, affluent of Duero, containing contaminants that exceed the allowed levels, causing severe damage to the ecosystem of the waters, as well as discomfort caused by odors in the neighboring area. These wastewaters have a high pollutant levels due to its high phosphate load, all these matters give rise to an environmental problem that must be remedied by an effective debugging.

The improvements studied in this project are those that allow the correct treatment of urban waste water in order to reach an elimination of all discharges produced so the required trace level is achieved, to fulfill the limits set by the Directive of the European Union on Urban Wastewater Treatment and the utilization of the waste produced to reduce environmental and economic impacts triggered by their management and disposal in landfills.

The content of the project is divided into three different parts, the first one develops the basic concepts of wastewater treatment.

In the second part of the study, it's a review of the current status of the current wastewater treatment plant. Therein the problems found in the treatment plant are discussed and the necessary improvements for proper operation are proposed.

In the third and last part we design a co-digestion system that could be implemented in the treatment plant to perform energy recovery from sludge.

Keywords: Wastewater treatment plant, wastewater treatment plant, cogeneration, water pollution, Verín, Tamega river

Índice

1. Introducción y antecedentes	5
1.1. Introducción.....	6
1.2. Antecedentes	7
2. Objetivos.....	8
2.1. Análisis del estado actual de las tecnologías para el tratamiento de agua.....	9
2.2. Análisis del estado actual del sistema de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Verín.....	9
2.3. Propuestas de mejora de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Verín	9
2.4. Desarrollo de un sistema reutilización sostenible de los desechos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales.....	10
3. Configuración general de una EDAR	11
3.1. Línea de agua	14
3.1.1. Pretratamiento.....	14
3.1.1.1. Obra de llegada.	14
3.1.1.2. Pozo de gruesos.....	16
3.1.1.3. Desbaste	17
3.1.1.4. Desarenador	22
3.1.1.5. Separador de Grasas y aceites.....	28
3.1.1.6. Bombeo	29
3.1.2. Tratamiento Primario	30
3.1.2.1. Decantación primaria	31

3.1.2.2	Extracción fango primario	41
3.1.3.	Tratamiento secundario	42
3.1.3.1.	Tratamiento biológico.....	42
3.1.3.1.1.	Procesos biológicos anaerobios.....	47
3.1.3.2.	Fangos activados, decantación secundaria	54
3.1.4.	Tratamiento terciario.....	58
3.1.4.1.	Procesos de eliminación de compuestos fosforados nitrogenados ..	58
3.1.4.2.	Procesos de membrana.....	67
3.1.4.3.	Procesos de oxidación y reducción.....	72
3.1.4.4.	Desinfección.....	81
3.1.4.5.	Procesos de adsorción	82
3.1.4.6.	Procesos de intercambio iónico	84
3.2.	Línea de fangos.....	86
3.2.1.	Espesador por gravedad.	88
3.2.1.1.	Parámetros de diseño	89
3.2.1.2.	Cálculos funcionales y dimensionamiento.....	90
3.2.2.	Espesadores de flotación	90
3.2.2.1.	<i>Equipos</i>	91
3.2.2.2.	<i>Parámetros de diseño</i>	92
3.2.3.	Digestión aerobia.....	93
3.2.4.	Digestión anaerobia.....	95
3.2.4.1.	Dotación / Equipos	97
3.2.4.2.	Parámetros de diseño.....	97
3.2.5.	Funcionamiento de la digestión convencional.....	98
3.2.5.1.	Factores que determinan la eficacia de la digestión	100
3.2.5.2.	Dimensionamiento de los tanques	102
3.2.6.	Producción de Gas	102

3.2.7. Filtros Banda	108
4. Estudio de la situación actual	112
4.1. Descripción de las instalaciones.....	113
5. Problemas encontrados y mejoras propuestas	141
5.1. Problemas detectados en la planta.....	142
5.1.1. Mal funcionamiento de las bombas de recogida de flotantes del Desarenador - Desnatador	142
5.1.2. Funcionamiento de las soplantes de todas las balsas biológicas dependientes.....	144
5.1.3. Problemas medioambientales provocados por vertidos	146
5.1.4. Fallo en las condiciones de Seguridad y Salud en las instalaciones.....	168
5.2. Solución a los problemas actuales para la correcta explotación de la EDAR	169
5.2.1. Mejora I: Cambio de las bombas de desnatador.....	169
5.2.2. Mejora II: Automatización independiente de las soplantes.....	172
5.2.3. Mejora III: Instalación variadores de frecuencia en soplantes de aireación. 176	
5.2.4. Mejora IV: Instalación rodapiés en barandillas.....	179
5.2.5. Mejora V: Instalación de barandillas en el decantador secundario.....	181
6. Implantación de un sistema de cogeneración en la EDAR de Verín....	183
6.1. Introducción.....	184
6.2. Componentes	186
6.2.1. Almacenamiento y acondicionamiento de sustratos	187
6.2.2. Producción de biogás	189
6.2.3. Acondicionamiento del biogás	192
6.2.4. Aprovechamiento energético del biogás	194

6.2.5. Otras instalaciones.....	200
6.2.6. Digestato	200
6.3. Caso particular de la EDAR de Verín	201
6.4. Alternativas: Motogenerador VS. Microturbina.....	210
6.4.1. Alternativa 1 Moto generador	211
6.4.2. Alternativa 2 Micro turbina.....	213
6.5. Estudio de viabilidad económica	217
6.6. Conclusiones.....	222
7. Conclusiones.....	224
8. Trabajos futuros	226
9. Bibliografía	228
10. Listado de Tablas	237
11. Listado de Figuras.....	240

1. Introducción y antecedentes

1.1.Introducción

El agua es uno de los principales elementos que permiten la supervivencia del ser humano, pese a que en muchos lugares el agua limpia y fresca se da por hecho, en otros es un recurso escaso debido a la falta de agua o a la contaminación de sus fuentes. Aproximadamente 1.100 millones de personas, es decir, el 18 por ciento de la población mundial, no tienen acceso a fuentes seguras de agua potable, y más de 2.400 millones de personas carecen de saneamiento adecuado. En los países en desarrollo, millones de personas, mueren cada año a causa de enfermedades asociadas con la falta de acceso al agua potable, saneamiento inadecuado e insalubridad. Además, gran parte de las personas que viven en los países en desarrollo sufren de enfermedades causadas directa o indirectamente por el consumo de agua o alimentos contaminados o por organismos portadores de enfermedades que se reproducen en el agua. Además la contaminación de las aguas influye en la biodiversidad de las zonas donde se encuentra, poniendo en peligro fuentes de alimento o el equilibrio ecológico de las mismas.

Las actividades agrícolas, industriales y el aumento de la población mundial han supuesto una degradación progresiva de los acuíferos mundiales. Desde hace décadas en los países desarrollados se ha tomado conciencia del problema que esto supone y se han tomado medidas para su paliación mediante plantas de tratamiento que eliminan los contaminantes más peligrosos antes de devolver el agua a su ciclo natural.

En algunas ocasiones como en el caso que nos ocupa en este proyecto las medidas tomadas no son suficientes o fallan por algún motivo, por ello es imprescindible realizar un estudio que determine las causas principales de estos desarreglos para poder ponerles solución.

1.2. Antecedentes

Durante los últimos 2 años he estado trabajando en Degremont, una empresa dedicada al tratamiento de aguas residuales, fundamentalmente realizando proyectos de oferta para licitaciones públicas de plantas de tratamiento de aguas tanto nacionales como internacionales. Lo que me ha permitido tener una visión global del desarrollo e implicaciones de una planta de tratamiento de aguas.

Por otro lado al ser natural de Verín (Ourense) he podido ver como las aguas del Río Támega aguas abajo de la planta depuradora del municipio, presentaban un aspecto turbio lo que provocaba protestas constantes en la población de la zona.

Tras darme cuenta de los problemas existentes en la depuración de aguas de aguas de Verín comencé a investigar la situación de la planta depuradora de aguas residuales (EDAR) que prestaba servicio a ese municipio, que terminó materializándose en un trabajo dirigido en esta universidad. En él se llegó a la conclusión de que los problemas de vertidos iban más allá de la turbidez y detectada por los vecinos en la zona de vertido de efluentes, si no que las analíticas mostraban una carga de contaminantes superior a la permitida por la legislación actual.

Parecía evidente que el siguiente paso siguiente al estudio de planta debía ser un análisis en profundidad de los problemas que presenta la planta para conocer sus causas y la propuesta de las soluciones que deberían adoptar para eliminarlos. De este modo se pretende conseguir una planta de tratamiento de aguas residuales más sostenible económica, social y medioambientalmente.

2. Objetivos

2.1. Análisis del estado actual de las tecnologías para el tratamiento de agua

En primer lugar se desarrolla un análisis previo de las tecnologías utilizables en una planta de tratamiento de agua. Se tratan tanto las tecnologías ampliamente desarrolladas con años de experiencia como las tecnologías en actual investigación y desarrollo.

2.2. Análisis del estado actual del sistema de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Verín.

Los problemas producidos por los vertidos de la planta depuradora de Verín, son conocidos tanto por la confederación hidrográfica del Duero como por las autoridades locales y vecinos que observan sus consecuencias.

El primer paso para la solución de los problemas causados por los vertidos es conocer la situación actual de la planta y detectar las deficiencias que existan en la misma. Por ello el segundo paso consistirá en la realización de un análisis del estado del sistema de depuración actual.

2.3. Propuestas de mejora de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Verín

Una vez conocidos los problemas existentes en la planta se procederá a la propuesta de las mejoras que los solventen.

A la hora de seleccionar las mejoras a aplicar deberán tenerse en cuenta no solo las tecnologías que proporcionarían una solución, si no también el coste de la aplicación de las mismas. Escogiendo en todo caso aquellas que se adapten a las necesidades de la planta con una inversión razonable.

2.4.Desarrollo de un sistema reutilización sostenible de los desechos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales

Uno de los principales problemas con los que se encuentran las plantas de tratamiento de aguas residuales es la gestión de los residuos que se derivan de su explotación.

La gestión de estos lodos produce un coste económico por su traslado y deposito en vertederos. Además pueden producirse problemas sociales y medioambientales debido a los olores o filtraciones que se produzcan una vez depositados en el vertedero.

Dado que la reducción de dichos residuos se antoja complicada la mejor solución para la explotación sostenible de las depuradores es su revalorización. Aquellos productos que para la industria del tratamiento de aguas son desechos se consideran materias primas en agricultura o generación de energía, tras aplicársele el tratamiento adecuado.

Por ello uno de los objetivos de este proyecto será el estudio de la valorización de los lodos generados.

3. Configuración general de una EDAR

En muchas ocasiones los vertidos de aguas residuales urbanas superan la capacidad de dilución y autodepuración de los cauces y medios receptores, lo que lleva a un deterioro progresivo de la calidad de los mismos, e imposibilita la reutilización posterior del agua. Por ello resulta imprescindible el uso de estaciones depuradas de aguas residuales que permitan la recuperación de las mismas.

En los puntos posteriores analizaremos con detalle el estado de la tecnología de depuración de agua. Como resumen podemos presentar las siguientes operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados.

Contaminante	Operación unitaria
<i>Sólidos en suspensión</i>	Desbaste y dilaceración Desarenado Sedimentación Filtración Flotación Adición de polímeros Coagulación/sedimentación Sistemas naturales (tratamiento por evacuación al terreno)
<i>Materia orgánica biodegradable</i>	Variantes de fangos activos Película fija: filtros percoladores Película fija: biodiscos (CBR) Variantes de lagunaje Filtración intermitente en arena Sistemas físico-químicos Sistemas naturales
<i>Compuestos orgánicos volátiles</i>	Arrastre por aire Tratamiento de gases Adsorción en carbón
<i>Patógenos</i>	Cloración Hipocloración Cloruro de bromo Ozonización

Contaminante	Operación unitaria
	Radiación UV Sistemas naturales
Nutrientes	<i>Nitrógeno</i> Variantes de sistemas de cultivo en suspensión con nitrificación y desnitrificación Variantes de sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación Arrastre de amoníaco Intercambio iónico Cloración al breakpoint Sistemas naturales <i>Fósforo</i> Adición de sales metálicas Coagulación y sedimentación con cal Eliminación biológica del fósforo Eliminación biológica-química del fósforo Sistemas naturales Eliminación biológica de nutrientes
Materia orgánica refractaria	Adsorción en carbón Ozonación terciaria Sistemas naturales
Metales pesados	Precipitación química Intercambio iónico Sistemas de pretratamiento por evacuación al terreno
Sólidos orgánicos disueltos	Intercambio iónico Ósmosis inversa Electrodialisis

Tabla 1: Operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de los contaminantes presentes en el agua residual.[Met, 1996]

3.1.Línea de agua

3.1.1. Pretratamiento

Las aguas residuales urbanas a menudo contienen diferentes tipos de materiales sólidos, en muchas ocasiones de gran tamaño, que pueden dañar o bloquear las instalaciones que componen la depuradora, estas aguas también pueden presentar restos de elementos que interfieran en los tratamientos posteriores.

Es necesario someter el agua que llega a la planta a una serie de procesos físicos que elimine dicha materia, denominados pretratamiento.

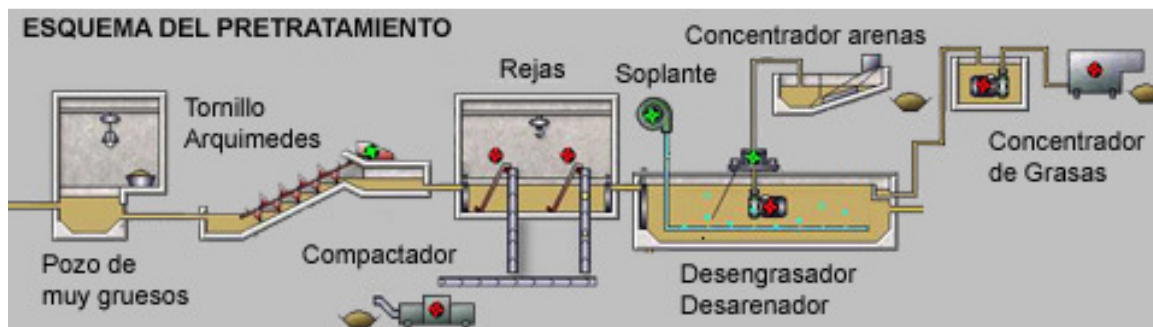


Ilustración 1 Esquema pretratamiento ^[WPB]

Los siguientes pasos constituyen las operaciones más comunes aplicadas durante el pretratamiento:

3.1.1.1. Obra de llegada.

Las aguas residuales provenientes de la red urbana llegan a la planta a través del colector de entrada, diseñado para canalizar un determinado caudal punta. Para evitar que se produzca un mal funcionamiento de la planta o incluso posibles daños en las posteriores unidades de proceso en caso de que se

supere este caudal de diseño se suele incluir en la obra de llegada de las plantas un vertedero de tormentas situado a una altura menor que el colector de entrada de manera que cuando el caudal que circule por este supere un determinado valor el agua en exceso se vierta al canal auxiliar que puede comunicar con el exterior o con una balsa de homogenización donde el agua se almacena hasta que pueda ser tratada.

La obra de llegada a las plantas puede contar también con una compuerta de aislamiento que tiene como objetivo aislar el colector de entrada de aguas residuales de manera que se faciliten las labores de explotación y mantenimiento de la planta.



Ilustración 2: Obra de llegada EDAR Pinedo

3.1.1.2. Pozo de gruesos

El pozo de gruesos es el primer elemento de eliminación de contaminación que nos podemos encontrar en una EDAR.

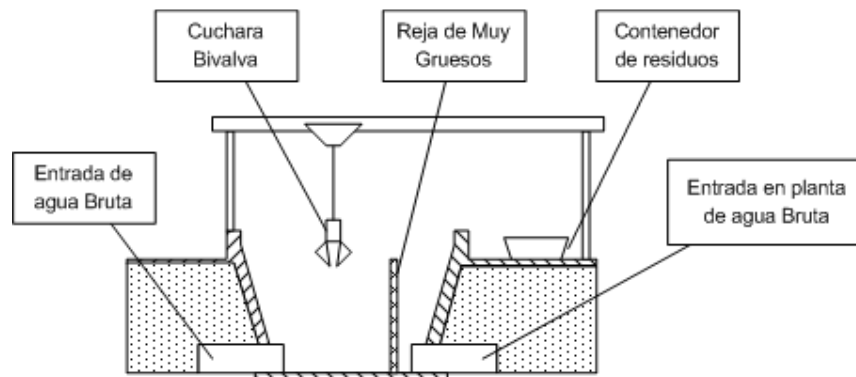


Ilustración 3: Esquema de pozo de gruesos^[WPR]

Es una zona de llegada del canal donde, al ensancharse su sección, se aumenta el tiempo de retención hidráulico hasta valores que permitan que los sólidos de mayor densidad se depositen en su fondo. Se diseña cuando se espera encontrar en el agua residual, debido a las características del vertido o al diseño de los colectores, elevada cantidad de sólidos de gran tamaño y excesivas arenas.

Su sección debe tener forma tronco-piramidal con las paredes inclinadas, para evitar acumulación de sólidos y arenas en los laterales y esquinas y que facilite la acumulación de residuos y arenas en la zona inferior facilitando la extracción defectiva de la mayor cantidad de residuos. También suelen diseñarse con las esquinas achaflanadas y el fondo curvo para evitar acumulación de residuos en las partes perimetrales.

Para la extracción de los residuos se instala un equipo denominado cuchara bivalva, que es accionado mediante un motor electrohidráulico. Su manejo es generalmente manual, introduciéndolo el personal periódicamente en posición abierta hasta el fondo del pozo, donde se cierra para recoger los residuos. Posteriormente es elevada y tras dejar reposar un tiempo para eliminar el agua,

dichos residuos son depositados en un contenedor de almacenamiento mediante un polipasto motorizado. Se diseña estableciendo un tiempo de retención hidráulico que permita la decantación de los sólidos gruesos y las arenas, a partir del cual se determina su volumen.



Ilustración 4: Cuchara bivalva

3.1.1.3. Desbaste

El desbaste tiene como fin la protección de las estructuras situadas posteriormente de la llegada de objetos de gran tamaño que puedan causar bloqueos en los conductos posteriores o incluso en otras unidades que componen la planta, al mismo tiempo que se separan de manera sencilla los elementos arrastrados por el agua bruta que puedan poner en peligro la eficacia del tratamiento de agua y fangos.

Tipo de dispositivo	Tamaño	Intervalo de paso (cm)	Material	Aplicación
Reja de barras	Grueso	1,5-3,75	Acero, acero inoxidable	Pretratamiento
Tamices				
Inclinado (fijo)	Medio	0,025-0,25	Malla de cuña de acero inoxidable	Tratamiento primario
Inclinado (giratorio)	Grueso	0,225-5,0	Placas de bronce o cobre pulido	Pretratamiento
Tambor (giratorio)	Grueso	0,25-0,5	Malla de cuña de acero inoxidable	Pretratamiento
	Medio	0,025-0,25	Malla de cuña de acero inoxidable	Tratamiento primario
	Fino	6-35 micras	Mallas de poliéster y de acero inoxidable	Eliminación de sólidos en suspensión residuales secundarios
Disco giratorio	Medio	0,025-0,1	Acero inoxidable	Tratamiento primario
	Fino	0,0025-0,05	Acero inoxidable	Tratamiento primario

Centrífugo	Fino	0,005-0,05	Acero inoxidable, poliéster y diversos tipos de telas	Tratamiento primario, tratamiento secundario con tanque de sedimentación, y eliminación de sólidos en suspensión residuales secundarios
-------------------	------	------------	---	---

Tabla 2: Descripción de los dispositivos de desbaste empleados en el tratamiento de las aguas residuales [Met, 1996]

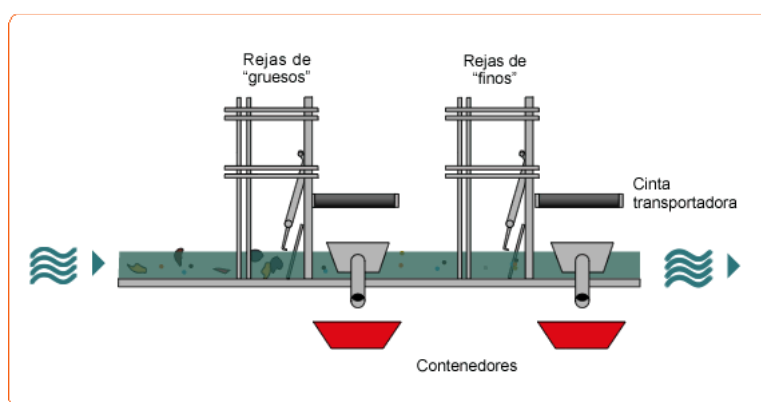


Ilustración 5: Esquema desbaste

El tamaño de paso de los sólidos viene determinado por la luz de la reja o tamiz. Podemos distinguir entre:

- Reja de gruesos: Separación entre barras mayor a 40 mm.
- Reja de finos: Separación entre barras entre 40-6 mm.
- Tamices: con una luz de entre 6 y 0.5mm.

Dependiendo del tipo de planta en que nos encontremos podremos encontrar una combinación de rejillas y tamices con distinta luz que se pueden instalar una tras otra en la misma unidad de filtración, o de manera separada, antes de la entrada a un tratamiento crítico.

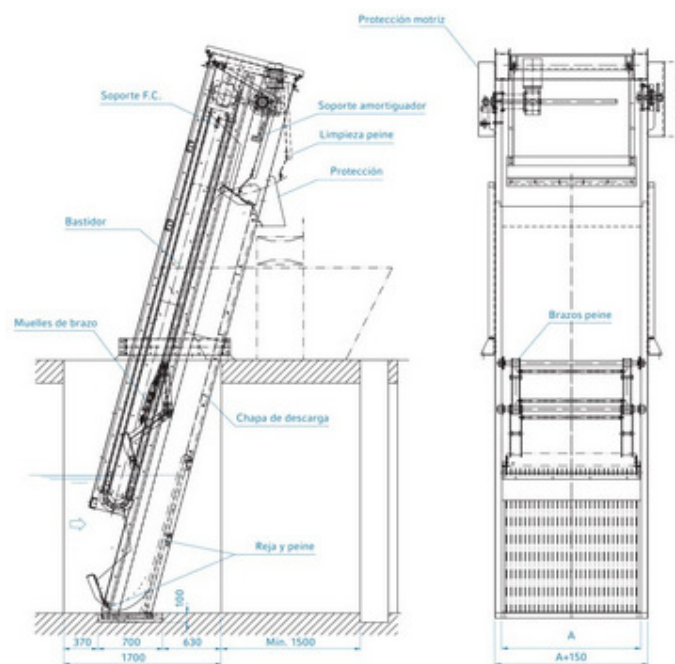


Ilustración 6: Reja automática^[COU]

Atendiendo al sistema de limpieza podemos distinguir dos tipos de sistemas

- **Sistemas de limpieza manual:** Generalmente se instalan en plantas de pequeño tamaño aunque, actualmente, se tiende a instalar equipos de limpieza automática para facilitar las operaciones y reducir al máximo los trabajos manuales, quedando las rejillas con sistema de limpieza manual relegadas a la función de equipo de apoyo.

Se instalan generalmente con un ángulo de inclinación de 70° y una longitud menor de tres metros para que pueda procederse a su limpieza a mano. Los sólidos recogidos suelen depositarse en una cesta de chapa perforada para separar los escurridos.

- Sistemas de limpieza automática: Son rejas equipadas con un peine móvil que periódicamente limpia la reja bien por la cara anterior o bien por la cara posterior. Estos sistemas de limpieza se accionan mediante cadenas, cables o sistemas hidráulicos. Los residuos extraídos se descargan sobre cintas o tornillos transportadores hasta una prensa compactadora (que en la actualidad suele llevar un sistema de lavado de residuos) y finalmente son depositados en un contenedor de residuos para su traslado a un vertedero controlado. Las rejas de limpieza automática suelen ser rectas y pueden tener una altura de hasta 10 m de longitud.

El funcionamiento del limpia rejas automático mediante un sistema combinado de temporización y pérdida de carga (suele disponerse un sistema de sonda de máximo nivel que al detectar una subida del nivel de agua acciona el funcionamiento en continuo del equipo hasta desactivarse la medida de nivel).

El canal donde se ubica la reja se debe proyectar de modo que se evite la acumulación en el mismo de arenas y demás materias pesadas, tanto antes como después de la reja. Para ello habrá que prestar especial atención a la pendiente y a la velocidad de aproximación del agua por el canal. La pendiente deberá ser horizontal o descendiente en la dirección de circulación a través de la reja, sin baches o imperfecciones en las que puedan quedar atrapados algunos sólidos. Preferiblemente el canal deberá ser recto y perpendicular a la reja, con la finalidad de conseguir una distribución uniforme de sólidos en el flujo y la reja. Para reducir al mínimo la decantación de sólidos en el canal, se recomiendan velocidades de aproximación superiores a 0,4 m/s. A caudales punta, la velocidad de paso a través de las barras no deberá ser superior a 0,9 m/s para evitar el arrastre de basuras a través de las rejas. En la mayoría de las plantas se suele disponer de un mínimo de dos unidades de rejas automáticas de modo que sea posible dejar una de ellas fuera de servicio para realizarse labores de mantenimiento. Siempre es conveniente la instalación de compuertas de canal aguas arriba y debajo de cada reja, de modo que sea posible dejar la unidad en seco. Si sólo se instala una unidad, es imprescindible incorporar un canal de bypass con una reja de limpieza manual para su uso en casos de emergencia. El proceso de cálculo requiere determinar el número de canales que son necesarios para mantener los parámetros citados.

3.1.1.4. Desarenador

El propósito de la eliminación de arenas consiste en la extracción de grava arenas y partículas minerales más o menos finas (habitualmente mayores a 200 μ m) que no han sido capturados en la etapa de desbaste, con el fin de evitar depósitos en los canales posteriores y proteger al sistema de la abrasión que este tipo de residuos puedan producir.

Los datos aportados en la Tabla pueden utilizarse para establecer la capacidad de eliminación de arena de un desarenador conocida su geometría. De hecho el diseño de un desarenador presenta dos problemas principales.

1. La arena llega principalmente cuando hay pico de caudal durante el cual la velocidad transversal es más alta y por lo tanto la tasa de suspensión es también en su más alta.
2. En el tratamiento de aguas residuales, el objetivo es extraer la mayor cantidad de materia mineral posible con la menor pérdida de materia orgánica posible, por lo que es necesario mantener un nivel adecuado de turbulencia.

D (mm)	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0
Vc (cm/s)	0.2	0.7	2.3	4.0	5.6	7.2	15	27	35	47	74
Vc' (cm/s)	0	0.5	1.7	3.0	4.0	5.0	11	21	26	33	51
Vc'' (cm/s)	0	0	1.6	3.0	4.5	6.0	13	25	33	45	65
VI (cm/s)	15	20	27	32	38	42	60	83	100	130	190

Tabla 3: Velocidad de sedimentación de partículas de arena

D= diámetro de la partícula

Vc= Velocidad de sedimentación para un fluido que tiene una velocidad horizontal cero

V_c' = Velocidad de sedimentación para un fluido que tiene una velocidad horizontal igual a V_I

V_c'' = Velocidad de sedimentación para un fluido que tiene una velocidad horizontal igual a 0.3m/s

V_I = Velocidad critica de arrastre de una partícula

La cantidad de arena presente en un efluente es muy variable, dependiendo del área donde este situada la planta, longitud y estado de las conducciones, volumen de precipitaciones... aunque no suele superar los 15 litros de arena por año y por habitante equivalente de diseño.

Existen tres tipos de desarenadores fundamentales: desarenadores de flujo horizontal, desarenadores de flujo vertical y desarenadores de flujo inducido.

- Los desarenadores de flujo horizontal son utilizados en instalaciones pequeñas y consisten en un ensanchamiento del canal de pretratamiento de forma que se reduzca la velocidad de flujo y decanten las partículas. Debe diseñarse con un canal paralelo para proceder a su limpieza que se realiza manualmente. Suelen instalarse con un canal Parshall a la salida que permite al mismo tiempo mantener la velocidad constante y medir el caudal.

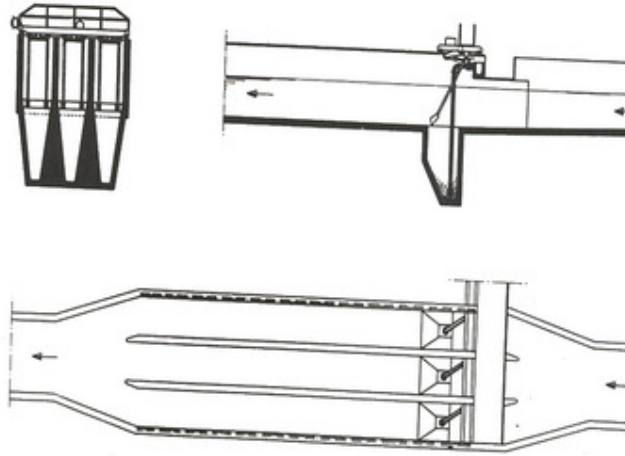


Ilustración 7: Desarenador de flujo horizontal

- Los desarenadores de flujo vertical se diseñan mediante tanques que tienen una velocidad ascensional del agua tal que permite la decantación de las arenas pero no caen las partículas orgánicas. Suelen ser depósitos troncocilíndricos con alimentación tangencial.

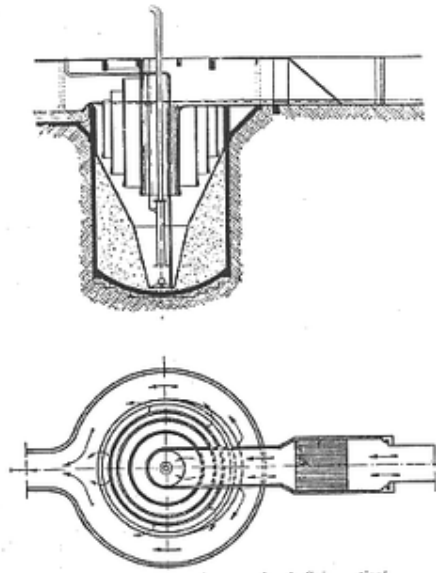


Ilustración 8: Desarenador de flujo vertical

- Los desarenadores de flujo inducido son de tipo rectangulares aireados. En estos equipos se inyecta aire por medio de grupos motosoplantes creando una corriente en espiral de manera que permite la decantación de las arenas y genera una corriente de fondo. Además el aire provoca la separación de las materias orgánicas. De esta forma, dado que el depósito está aireado y se favorece la separación de la materia orgánica, se reduce la producción de malos olores.

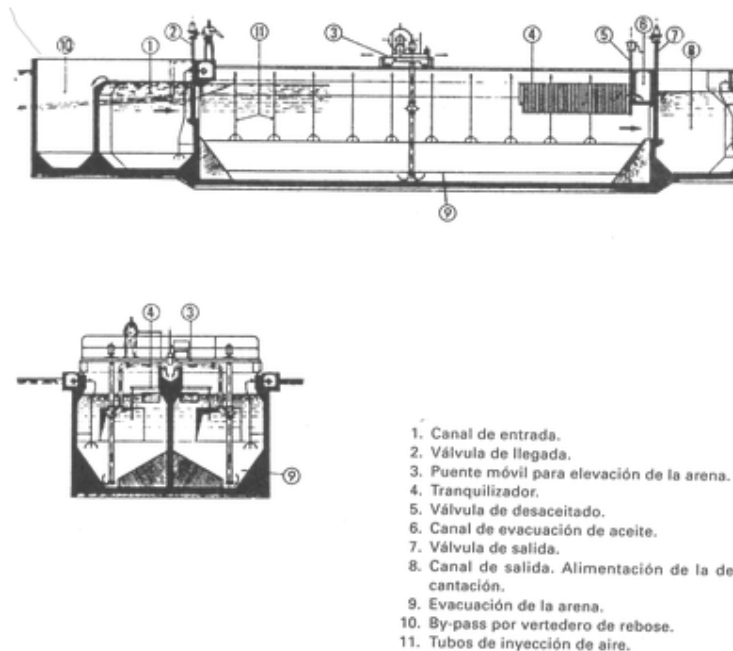


Ilustración 9: Desarenador de flujo inducido

La separación de las arenas puede ser manual o por medio de hidrociclón, en plantas de pequeño tamaño. En plantas mayores se instalan sistemas de separación mediante tornillos de Arquímedes o mediante clasificador alternativo de rastrillos o de vaivén. Estos dos últimos lavan las arenas y disminuyen su contenido en materia orgánica.

La base de los procedimientos utilizados en la separación de arenas es, la separación natural por decantación en canales o depósitos apropiados y la separación dinámica por procesos utilizando inyección de aire o efectos de separación centrífuga. La separación natural requiere una constancia absoluta

en el paso del agua. El diseño más complejo corresponde al canal aireado, en el cual el aire que se inyecta provocando un movimiento en el líquido (trayectoria horizontal) y crea una velocidad constante de barrido de fondo, perpendicular a la velocidad de paso, la cual puede entonces variar sin inconvenientes. El aire inyectado, además de su papel motor, favorece, por su efecto de agitación, la separación de la materia orgánica que puede quedar adherida a las partículas de arena. Los difusores de aire se sitúan en uno de los laterales del tanque a una distancia entre 0,5 y 0,9 m sobre el suelo. Para el control hidráulico del elemento y para mejorar la eficacia en la eliminación de arenas se suelen usar deflectores tanto en la entrada como en la salida de agua.

La sección transversal del canal es semejante a la de los tanques de aireación de los fangos activos de circulación espiral con la excepción de que se incluye un canal de recogida de arenas de unos 0,9 m de profundidad, con paredes laterales muy inclinadas que se ubica a lo largo de un lateral del depósito, bajo los difusores de aire.

Parámetros más importantes:

Parámetro	Valor
No aireados	
Carga hidráulica	<70 m ³ /m ² /hora (a Q _{máx})
Velocidad horizontal	0,24-0,40
Tiempo de retención	45-90 s
Longitud	0-25 veces la altura de la lámina de agua
Circulares	

Carga hidráulica	<70 m ³ /m ² /hora (a Q _{máx})
Velocidad periférica media	0,3 - 0,4 m/s
Tiempo de retención	0,5 -1 min (a Q _{máx})
Aireados	
Carga hidráulica	<70 m ³ /m ² /hora (a Q _{máx})
Velocidad horizontal punta	<0,15 m/seg
Tiempo de retención a caudal	2 - 5 min
Relación longitud anchura	3:1 a 5:1
Profundidad	2 - 5 m
Relación anchura-profundidad	1:1 a 5:1
Longitud	7,5 a 20 m
Anchura	2,5 a 7 m
Suministro de aire	0,20-0,60 m ³ /min

Tabla 4: Parámetros más importantes en desarenadores

3.1.1.5. Separador de Grasas y aceites

La eliminación de grasas y aceites en un proceso en el que se separan aquellos productos cuya densidad es inferior a la del agua. Este paso se lleva a cabo utilizando un sistema de flotación que puede ser manual o asistida. El fin principal de este proceso es evitar que estas sustancias interfieran en los tratamientos posteriores.

La separación de grasas o aceites puede encontrarse como un proceso en sí mismo en aguas con un alto contenido en estas materias, generalmente aguas de procedencia industrial. Lo más habitual en sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas es que aparezca combinado con el desarenador en una única instalación.

El principal problema a solventar cuando se instala este tipo de sistemas combinados es la optimización de la velocidad de retención en el tanque, ya que una estancia demasiado prolongada puede hacer precipitar materia orgánica y un tiempo escaso no permitiría eliminar toda la grasa necesaria. Por ello se suele incluir un sistema de aireación en el tanque que produciría la flotación asistida de las grasas para adecuar su velocidad a la de sedimentación de las arenas.

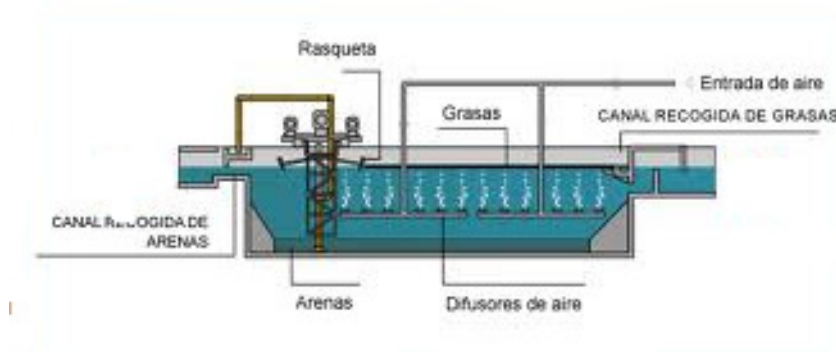


Ilustración 10: Desarenador/desengrasador

Las grasas en superficie se retiran mediante rasquetas superficiales y son concentradas por medio de un concentrador de grasas o desnatador que por medio de un tornillo de transporte las deposita en un contenedor de almacenamiento.

3.1.1.6. Bombeo

Cuando el colector de llegada del agua residual circula a una cota inferior a la necesaria, es necesario instalar un sistema de elevación a la entrada de la EDAR, para que, una vez canalizada el agua por toda la línea de tratamiento, pueda verterse por gravedad. Suele dotarse de grupos de bombeo capaces de impulsar el caudal máximo de diseño de la instalación dejando un equipo de reserva.

En la actualidad su funcionamiento suele ser automático con la instalación de variadores de frecuencia que comandan los equipos para introducir un caudal de entrada teniendo en cuenta que el nivel del colector no sea muy elevado. Este hecho produce sensibles mejorías en el proceso de depuración y en el control y explotación de la EDAR, dado que permite laminar los caudales punta que tantas dificultades pueden ocasionar.

La estación de bombeo se diseña teniendo en cuenta el caudal a elevar y el tiempo de funcionamiento de los equipos previsto. Para establecer el número de bombas también hay que considerar que debe existir una bomba de reserva. El segundo dato necesario para el diseño de la estación de bombeo será la altura a elevar, que vendrá dada por la altura geométrica más las pérdidas de carga de las conducciones, obteniéndose así la altura manométrica.

Para el cálculo del pozo de bombeo se tendrá en cuenta la capacidad de la bomba (doble del caudal medio) y el número de arranques horario. También se tendrán en cuenta las medidas y el número de bombas a instalar, la altura necesaria de la lámina de agua sobre el pozo y el tiempo de retención en el mismo, que puede situarse entre los 3 y los 5 minutos aproximadamente.

3.1.2. Tratamiento Primario

Una vez ha pasado el agua residual por el pretratamiento, donde se han eliminado los sólidos más gruesos, sólidos finos hasta las 200 micras, arenas y grasas, el siguiente proceso de depuración es el tratamiento primario. El objetivo fundamental de este proceso es continuar eliminando sustancias insolubles (sólidos en suspensión) por métodos puramente físicos, es decir por acción de la fuerza de la gravedad. Si no existen grandes variaciones estacionales y el objeto de depuración son aguas residuales urbanas, el tratamiento primario consistirá en una decantación. De esta forma se consiguen unos rendimientos de eliminación de DBO5 del 25-35% y de sólidos en suspensión del 50-65%.

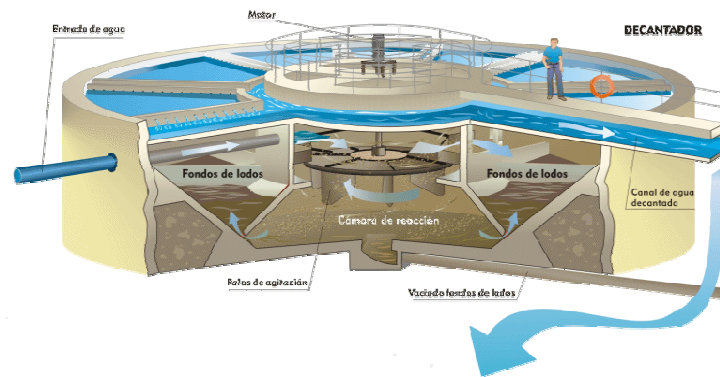


Ilustración 11: Esquema tratamiento primario

Para atender a casos de grandes variaciones de caudal, fuertes puntas de contaminación, etc. puede instalarse un tratamiento físico-químico acompañado obligatoriamente de la decantación. En estos casos, se obtienen rendimientos del 50-60 % en DBO5 y del 65-75% en SS con adición de polielectrolito, si se trabaja con sales metálicas el rendimiento es aún mayor llegando al 65-75 % en DBO5 y al 85-90% en SS. Son procesos simples donde se obtiene un rendimiento depurativo a un bajo coste, de ahí su principal importancia. Deficiencias en su funcionamiento pueden producir disfunciones en el tratamiento biológico tales como:

- Sobrecarga por bajo rendimiento del tratamiento primario
- Proliferación de organismos filamentosos por sobrecarga o por mala eliminación de sobrenadantes

El diagrama del proceso puede ser:

Las operaciones de decantación primaria más usuales que nos podemos encontrar en una EDAR son:

3.1.2.1. Decantación primaria

Proceso en el cual se elimina un 65% de los sólidos en suspensión del agua residual de entrada. Dado que en la composición de dichos sólidos hay materia orgánica, su eliminación lleva asociada una reducción de la DBO5 de entrada de aproximadamente el 35%.

La sedimentación primaria es una operación unitaria diseñada para concentrar y eliminar sólidos suspendidos orgánicos del agua residual. Hace unos años, cuando se consideraba que el nivel primario era suficiente como único tratamiento, la sedimentación primaria era la operación unitaria más importante de una planta. Su diseño y operación eran determinantes en la reducción de las cargas de desecho que se disponían en los cuerpos receptores. En la actualidad, los requerimientos de tratamiento a nivel secundario han otorgado a la sedimentación primaria un rol menor. No obstante, muchos de los procesos unitarios de tratamiento secundario son capaces de manejar los sólidos orgánicos sólo si se ha llevado a cabo una buena eliminación de arena y escoria durante el pretratamiento.



Ilustración 12: Decantador primario

La mayor parte de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales son de naturaleza pegajosa y flocculan en forma natural. Las operaciones de sedimentación primaria son esencialmente del Tipo 2 sin la adición de coagulantes químicos ni operaciones de mezclado mecánico y floculación. El material orgánico es ligeramente más pesado que el agua y se sedimenta lentamente, normalmente en el intervalo de 1 a 2.5 m/h.

Sedimentación tipo I	Sedimentación tipo II	Sedimentación tipo III	Sedimentación tipo IV
La concentración de sólidos es muy baja y se comportan como partículas discretas	Aumenta la concentración de sólidos por lo que la distancia entre partículas va disminuyendo, se favorece la aglomeración de partículas y la formación de floculos de mayor tamaño	La concentración de sólidos llega a ser tan alta que los flóculos se impiden el libre desplazamiento entre ellos	Región de compresión donde las partículas están concentradas hasta el punto de que el desplazamiento de las mismas se traduce en un movimiento de compresión producido por el peso

Sedimentación tipo I	Sedimentación tipo II	Sedimentación tipo III	Sedimentación tipo IV
Velocidad constante y es función de su tamaño y su densidad	Velocidad de sedimentación al ser función directa del tamaño de la partícula aumenta con la concentración	En un primer momento la aceleración del proceso de sedimentación va disminuyendo hasta hacerse nula por el efecto desacelerador de las fuerzas de repulsión. El movimiento es cooperativo manteniéndose las posiciones relativas entre partículas y desplazándose formando una masa cuasi-homogenea que desciende como un todo. La velocidad a la que desciende la interfase solido-liquido se denomina velocidad de sedimentación zonal y va disminuyendo según se acerca a la zona de compresión	

Tabla 5: Tipos de sedimentación

Los elementos fundamentales en todo decantador son:

a) Arqueta de reparto: Cuando la instalación consta de varias unidades, se acostumbrará a disponer los tanques en grupos de dos o cuatro unidades. El caudal se divide entre los diferentes tanques mediante una arqueta de reparto situada entre ellos.

b) Campana de reparto: Es por el punto por donde entra el afluente. Deben proyectarse de forma tal que toda la corriente de alimentación se difunda homogéneamente por el tanque desde el primer momento. En los tanques circulares, el sistema de flujo es radial (a diferencia del flujo horizontal que se da en los tanques rectangulares). Para conseguir este sistema de flujo radial, el agua residual a decantar se introduce por el centro o bien por la periferia del tanque. Ambas consideraciones de flujo han proporcionado por lo general, resultados satisfactorias, a pesar de que el sistema más comúnmente empleado es el de introducir el agua por el centro. En el diseño de la alimentación central, el agua residual se transporta hacia el centro del tanque mediante una tubería suspendida del puente o embebida en hormigón por debajo de la solera. En la zona central, el agua residual pasa por una campana circular diseñada para distribuir el flujo uniformemente en todas direcciones. La campana central tiene un diámetro que suele variar entre el 15 y el 20% del diámetro total del tanque, con una profundidad que varía entre 1 y 2,5 m. En el diseño de alimentación perimetral, existe un deflector circular suspendido a corta distancia del muro del tanque, formando un espacio anular en el que se descarga el agua residual en dirección tangencial.



Ilustración 13: Campana de reparto

c) El puente decantador: gira lentamente ($v < 120$ m/h) y puede tener dos o cuatro brazos equipados con rascadores de fondo. Los puentes también incluyen rascadores superficiales para la eliminación de espumas.



Ilustración 14: Puente decantador

d) Deflectores: Suelen colocarse a la entrada y salida de la balsa sirviendo, el primero, para conseguir una buena repartición del caudal afluyente y el segundo para retención de sustancias flotantes, grasas y espumas.

e) Vertedero de salida: Su nivelación es muy importante para el funcionamiento correcto de la clarificación. Por otro lado para no provocar levantamiento de los fangos sedimentados, la relación del caudal afluyente a la longitud total de vertido debe ser menor de 10-12 m³/m²/m.

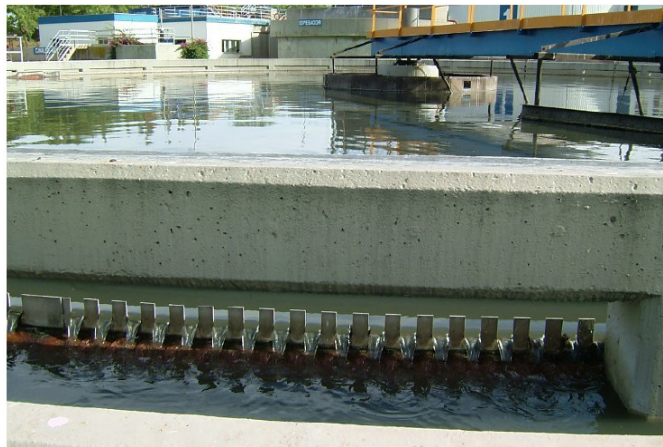


Ilustración 15: Vertedero de salida

f) Características geométricas: Las relaciones entre ellas deben ser las adecuadas para la sedimentación de los tipos de partículas previstas. El croquis adjunto muestra la sección de un decantador circular tipo:

Los parámetros principales a tener en cuenta para el diseño de un decantador primario son:

- Tiempo de retención: Se define como el volumen del tanque de decantación dividido por el caudal.
- Carga Superficial o Velocidad Ascensional: Se define como el caudal de agua a tratar dividido por la superficie del tanque de sedimentación.

- Velocidad de arrastre: es importante en las operaciones de decantación. Las fuerzas actuantes sobre las partículas sedimentadas son causadas por la fricción del agua que fluye sobre las mismas. En las redes de alcantarillado, es necesario mantener velocidades suficientemente elevadas para que las partículas no puedan sedimentar. En los tanques de decantación las velocidades horizontales se deben mantener a niveles bajos, de modo que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque.

Los parámetros para el diseño de un decantador primario convencional son:

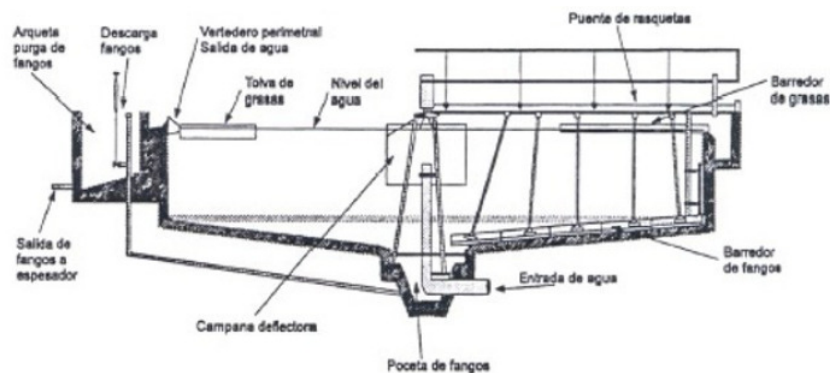


Ilustración 16: Partes decantador primario

- Tiempo de retención: Se define como el volumen del tanque de decantación dividido por el caudal.
- Carga Superficial o Velocidad Ascensional: Se define como el caudal de agua a tratar dividido por la superficie del tanque de sedimentación.
- Velocidad de arrastre: es importante en las operaciones de decantación. Las fuerzas actuantes sobre las partículas sedimentadas son causadas por la fricción del agua que fluye sobre las mismas. En las redes de alcantarillado, es necesario mantener velocidades suficientemente elevadas para que las partículas no puedan sedimentar. En los tanques de decantación las velocidades horizontales se deben mantener a niveles bajos, de modo que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque.

Tipo de decantadores:

Decantadores circulares:

En general, el agua entra por el centro del decantador y es recogida en toda la periferia del mismo. Frente a este sistema se ha desarrollado el de alimentación periférica con salida del agua bien central o bien periférica. Se evita las perturbaciones producidas por la disipación de la energía del agua en la entrada mediante la instalación de deflectores o corona de reparto en los circulares.

La salida habitual del agua es a través de un vertedero triangular, que aunque no es el óptimo desde el p.d.v. del reparto (al considerar el posible error de nivelación) sí lo es al considerar las amplias variaciones del caudal

La evacuación de los fangos puede contener tres pasos: Acumulación, almacenamiento y extracción.

La acumulación de fangos en el decantador puede realizarse de dos formas básicas: por gravedad o mediante equipos mecánicos. La primera se realiza mediante el fondo inclinado en forma de tolva del decantador, pero cuando las dimensiones de éste son excesivamente grandes hay que recurrir a equipos mecánicos que acumulen el fango sedimentado, por arrastre, en uno o varios puntos fijos de extracción, mediante rasquetas que barren la solera del decantador, ó bien mediante la extracción de los fangos por succión (bien por depresión hidráulica o por vacío) sin necesidad de acumulación, pero esta práctica es principalmente usada en la decantación secundaria del proceso de fangos activos.

El equipo de rasquetas puede adoptar principalmente dos alternativas diferenciadas por su sistema de accionamiento: Central o periférico (Un puente radial al que van unidas las rasquetas y que gira a través de una rueda tractora accionada por un motorreductor y que rueda por la coronación del muro periférico del decantador). A su vez, la estructura de las rasquetas puede ser variada, siendo la básica la de espina de pez, consistente en varias rasquetas equidistantes formando un ángulo constante con el radio del decantador, y que

arrastran una partícula desde la periferia al centro del decantador, haciendo pasar la partícula de una rasqueta a otra.

El almacenamiento se realiza normalmente en pocetas ubicadas en la solera del decantador, situadas en el centro del decantador circular en el que a veces se coloca un sistema de rasquetas de paletas de espesamiento, en esta poceta, para aumentar la concentración del fango antes de su extracción.

La extracción o purga del fango se puede realizar automáticamente de dos formas (Nunca es aconsejable la extracción manual, ni aún en las pequeñas depuradoras). En ambos casos, la extracción es periódica, por lo que el automatismo consiste en la temporización regular de los tiempos de funcionamiento y parada del sistema de extracción. Éste se materializa bien en válvulas automáticas o bien en bombas especiales para fangos.

La eliminación de flotantes se realiza disponiendo delante del vertedero de salida una chapa deflectora que evita la salida de los flotantes. Para su acumulación los sistemas de rasquetas disponen generalmente de barredores superficiales que los arrastran hasta el punto de extracción, consistente, en una tolva que a veces dispone de una rampa por donde sube parte de la barredora.

Decantadores rectangulares

La alimentación es generalmente por uno de los lados más estrechos, saliendo el agua por el lado opuesto, también a través de un vertedero triangular.

También la acumulación de fangos puede ser por gravedad o por rasquetas. Existen dos tipos básicos de equipos de rasquetas para la acumulación de fangos. En ambos casos, las rasquetas recorren el decantador a lo largo del mismo ocupando cada rasqueta todo su ancho.

Una vez que las rasquetas han barrido el fondo, se elevan y, recorriendo el largo del decantador en dirección opuesta, vuelven al punto de partida, aprovechando este movimiento para la acumulación de flotantes.

Las cadenas están unidas a un sistema de cadenas que constituyen el sistema tractor junto con el motorreductor de accionamiento.

El otro equipo consiste en un puente a lo ancho del decantador del que cuelga el sistema de rasquetas. El movimiento que sigue es de vaivén a lo largo del decantador, lo que obliga a la elevación de las rasquetas en el movimiento de retroceso, de estar el punto de extracción en un sólo lado del decantador.

Las pocetas de almacenamiento de fangos se sitúan a lo ancho del decantador rectangular en el lado de entrada del agua.

La extracción de flotantes se realiza por tubos acanalados giratorios.

Sobre cuál es el mejor decantador, a partir de datos estadísticos de explotación de múltiples depuradoras se ha llegado a la conclusión que son los circulares los que consiguen mejores rendimientos. Pero teniendo en cuenta la gran cantidad de factores que afectan al funcionamiento de la decantación, parece que no podemos afirmarlo científicamente. Por otro lado, desde un p.d.v. hidráulico, el decantador rectangular tendría mejor funcionamiento. Sin embargo, un mejor funcionamiento hidráulico no implica un mejor rendimiento necesariamente.

Decantadores lamelares

Este tipo de decantadores tienen dos propósitos, aumentar la superficie de decantación y obtener flujo laminar.

La idea de utilizar decantadores lamelares se basa en el hecho de que la carga superficial de un decantador en caída libre no depende de su altura, con la idea es posible aumentar la capacidad de un decantador dividiendo su altura en n decantadores, o bien utilizando placas o tubos planos o con cierta inclinación.

A través de un sistema de compartimentación modular es posible subdividir el caudal del efluente a un decantador en forma tal que se obtenga régimen hidráulico laminar que permita la sedimentación de partículas a través de una pequeña profundidad.

Teniendo en cuenta la circulación del agua y la pendiente de la solera la velocidad de las partículas para poder decantar debe ser:

$$V = \frac{Q}{S} \left[1 + \frac{L}{kh} \right]$$

L=Longitud

H=Altura

K=20=V/W

V= Velocidad de circulación del decantador

W= Componente vertical de la corriente.

$$V = \frac{Q}{S} \left[\frac{h + L(1/k - \operatorname{tg}(\alpha))}{h - L/2\operatorname{tg}(\alpha)} \right]$$

3.1.2.2 Extracción fango primario

Los sólidos que se eliminan en el tratamiento primario son decantados y arrastrados hasta una poceta y de ahí hasta la arqueta de fango primario desde donde se bombean al espesador de gravedad. El modo de funcionamiento generalmente es purgando mediante válvulas motorizadas a la arqueta de bombeo que funciona por medio de sondas de nivel.

Se debe conocer o estimar el volumen de fango producido en los tanques de decantación primaria, de modo que el proyecto y dimensionamiento de los tanques, junto con las instalaciones de tratamiento y eliminación del fango se puedan llevar a cabo correctamente

3.1.3. Tratamiento secundario

3.1.3.1. Tratamiento biológico

Los tratamientos biológicos tienen como principal objeto la eliminación de la materia orgánica de las aguas residuales. Otros usos, no menos importantes son:

- a) Eliminación de N_2 por medio de la oxidación del nitrógeno amoniacal, nitrificación-desnitrificación.
- b) Eliminación del fósforo.
- c) Eliminación de patógenos (balsas de maduración en lagunas).
- d) Eliminación de metales y tóxicos (uso de macrófitos, jacinto de agua o el carrizo).

La materia orgánica es eliminada del agua por acción de los seres vivos, que la emplean como fuente de alimento, produciendo nueva materia celular además de obtener la energía necesaria para su supervivencia. En función de la fuente de carbono utilizada se clasifican en autótrofos (carbono mineral) y heterótrofos (carbono como materia orgánica).



Ilustración 17: Detalle biológico EDAR Verín

En los procesos biológicos intervienen todo tipo de organismos, según las condiciones de operación de la instalación y el influente, se producirá el predominio de un tipo frente a otro.

Una vez, el sistema biológico, asimila la Materia Orgánica (M. O.) presente en el agua residual, podemos decir que el problema se reduce a un problema de separación de sólidos del agua. Para conseguir este objetivo se emplean diversos sistemas. En general, se emplean procesos físicos: decantación, filtros y membranas. Por último comentar que el control de la presencia de sustancias tóxicas en los efluentes finales y la falta de recursos hídricos hacen necesario optimizar, cada vez más, los procesos hasta límites capaces de garantizar aguas de calidad en las cuencas receptoras.

Los procesos biológicos comprenden varios tipos de tecnologías que emplean características específicas de cada tipo de microorganismo para conseguir la eliminación de la contaminación presente en las aguas. Los más ampliamente utilizados son los procesos Aerobios.

Tipo	Nombre	Aplicación
Procesos aerobios		
<i>Cultivo en suspensión</i>	<p>Proceso de fangos activados</p> <ul style="list-style-type: none">- Convencional- Mezcla completa- Aireación graduada- Oxígeno puro- Reactor intermitente secuencial- Contacto y estabilización	Eliminación de DBO carbonosa (nitrificación)

	<ul style="list-style-type: none"> - Aireación prolongada - Canales de oxidación - Tanques profundos (30m) - Deep shaft 	
	Nitrificación de cultivos en suspensión	Nitrificación
	Lagunas aireadas	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Digestión aerobia: <ul style="list-style-type: none"> - Aire convencional - Oxígeno puro 	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa
<i>Cultivo fijo</i>	Filtros percoladores <ul style="list-style-type: none"> - Baja carga - Alta carga 	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación
	Filtros de desbaste	Eliminación de la DBO carbonosa
	Sistemas biológicos rotativos de contacto (CBR)	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Reactores de lecho compacto	
<i>Procesos combinados</i>	Biofiltros activados <ul style="list-style-type: none"> - Filtros percoladores con 	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)

	contacto de sólidos - Procesos de fangos activados con biofiltros - Proceso de filtros percoladores y fangos activados en serie	
Procesos anóxicos		
<i>Cultivo en suspensión</i>	Desnitrificación con cultivo en suspensión	Desnitrificación
<i>Cultivo fijo</i>	Desnitrificación de película fija	Desnitrificación
Procesos anaeróbios		
<i>Cultivo en suspensión</i>	Digestión anaerobia - Baja carga, una etapa - Alta carga, una etapa - Doble etapa	Estabilización, eliminación de DBO carbonosa
	Proceso anaerobio de contacto	Eliminación de la DBO carbonosa
<i>Cultivo fijo</i>	Filtro anaerobio	Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización de residuos (desnitrificación)
	Lecho expandido	Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización de residuos

		(desnitrificación)
Procesos anaerobios, anóxicos o aerobios combinados		
<i>Cultivo en suspensión</i>	Procesos de una o varias etapas, múltiples procesos patentados	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación y eliminación de fósforo
<i>Procesos combinados: cultivo fijo y en suspensión</i>	Procesos de una o varias etapas	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación y eliminación de fósforo
<i>Procesos de estanques</i>	Lagunas aerobias	Eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques de maduración (terciarios)	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Estanques facultativos	Eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques anaerobios	Eliminación de la DBO carbonosa (estabilización de residuos)

Tabla 6: Principales procesos biológicos utilizados en el tratamiento del agua residual[Met, 1996]

3.1.3.1.1. *Procesos biológicos anaerobios*

Son procesos que se realizan mediante microorganismos, que actúan sobre la materia orgánica (MO) e inorgánica, suspendida, disuelta y coloidal existente en el agua residual, que, en presencia de oxígeno, la transforman en gases y materia celular, que se pueden separar fácilmente mediante sedimentación.

Una ecuación general que describe el proceso podría ser la siguiente:

M. O. + μ -Organismos + Nutrientes + O₂ ----> Nuevos μ -Organismos + Productos finales + Energía

En el proceso se producen dos tipos de reacciones: una de Síntesis y otra de Oxidación.

Síntesis (o Asimilación): En esta reacción se incorpora una parte de la MO al protoplasma de los microorganismos, dando lugar a nuevos μ - Organismos. La otra parte de MO se utiliza para la producción de la energía necesaria.

M.O. + μ -Organismos + Energía + O₂ ----> Nuevos μ -Organismos

Oxidación y Respiración endógena: Se produce la auto oxidación del protoplasma celular. En el proceso se liberan los nutrientes usados en la síntesis, lo que permite nuevas fases de asimilación. La reacción indica que la masa orgánica disminuye y tiende a cero.

$C_5H_7O_2N + 5O_2$ ----> $5CO_2 + 2H_2O + NH_3 +$ Energía

En este proceso intervienen una gran diversidad de microorganismos que constituyen un ecosistema con identidad propia dentro del reactor. Del estudio de este ecosistema se obtiene información de gran importancia que permitirá realizar un adecuado control del sistema^[Aur, 1996]

Los principales microorganismos presentes en un proceso Aerobio de fangos activos son: BACTERIAS: Constituyen el 95% de la biomasa (formadoras de flóculo, filamentosas, nitrificantes, etc.)

HONGOS: Son poco comunes en los sistemas de tratamientos de aguas residuales urbanas. Su presencia en abundancia se asocia, por lo general, a condiciones de pH demasiado bajos. Pueden ser usuales en procesos industriales.

PROTOZOOS: Son heterótrofos, y se encuentran libremente en la naturaleza, son predadores de las bacterias, son: Flagelados, Rizópodos (Amebas), Ciliados (pedunculados, libre nadadores, libres reptantes, suctores, etc.).

ALGAS: Su importancia estriba, no tanto por su capacidad de depuración sino por su capacidad fotosintética, aportando oxígeno. Por ser autótrofas permiten el aumento de la M. O. sintetizando el carbono mineral.

METAZOOS: Son animales pluricelulares, muy abundantes en los sistemas que emplean soporte fijo. Se alimentan de sustrato y de bacterias. (Rotíferos, Nematodos, Oligoquetos, etc.).

Las reacciones que se producen en el reactor biológico son afectadas por los siguientes factores:

A) Características del sustrato: Determina la capacidad de biodegradabilidad del proceso.

B) Nutrientes: Son el N, P, Ca, Mg., Na. Fe, MO, S, etc., son fundamentales para el desarrollo de los μ -Organismos. Un buen equilibrio con respecto al contenido en N y P es:

43 g de N / Kg. DBO5 eliminado

6 g de P / Kg. DBO5 eliminado.

C) Aportaciones de O₂: Son claves para el mantenimiento del sistema aeróbico. Se puede considerar el mantenimiento de concentraciones medias de unos 2,0 mg/l de O₂, en el caso de los fangos activados.

D) Temperatura: La temperatura influye en las reacciones de oxidación, aumentando cuando crece esta, hasta los 37°C que desciende bruscamente por degradación de las proteínas del protoplasma celular.

$$K_T = K_{20} \cdot e^{(T-20)}$$

K_T = velocidad de reacción a T °C

K_{20} = velocidad de reacción a 20 °C

e = coeficiente de actividad - temperatura (1,0 - 1,4)

T = temperatura en °C.

E) Salinidad: El contenido en sales disueltas no suele ser un problema hasta valores de 3-5 gr/l, siendo problemáticos valores de 5,0 gr/l. Si podría ser crítico, en el caso de fangos activos variaciones bruscas en cortos períodos de tiempo que impidieran una aclimatación del reactor.

F) Tóxicos: Son sustancias orgánicas e inorgánicas que a ciertas concentraciones inhiben o impiden los procesos biológicos, actuando sobre las enzimas catalizadoras de las reacciones de síntesis.

TIPOS DE PROCESOS BIOLÓGICOS AEROBIOS

FANGOS ACTIVADOS:

El agua decantada y el fango activado recirculado entran en el tanque de aireación y se mezclan con aire disuelto o con agitadores mecánicos. El suministro de aire suele ser uniforme a lo largo de toda la longitud de canal. Durante el periodo de aireación, se produce la absorción, floculación y oxidación

de la materia orgánica. Los sólidos del fango activado se separan en un decantador secundario.

AIREACIÓN PROLONGADA

El proceso de aireación prolongada es similar al de fangos activados convencional excepto en que funciona en la fase de respiración endógena de la curva de crecimiento, lo cual precisa una carga orgánica reducida y un largo periodo de aireación. Este proceso se emplea mucho en plantas prefabricadas para pequeñas comunidades.

LECHOS BACTERIANOS / FILTROS PERCOLADORES

En estos procesos, a diferencia de los otros, se emplea un soporte fijo donde se produce el crecimiento bacteriano, el sistema consta de un reactor cilíndrico relleno de material soporte de una gran superficie específica (este material está elaborado en base a materiales plásticos) cuya finalidad es la de servir de soporte a los microorganismos, que crean una biopelícula sobre él. En la parte central se encuentra el distribuidor de agua del tratamiento primario, que está constituido por un brazo diametral perforado que por acción centrífuga gira sobre el material soporte, distribuyendo el agua sobre el mismo. Es necesario mantener aireado el conjunto para permitir la actividad biológica. Esto se consigue creando un tiro de aire desde la base.

Constan de cubas donde se coloca un relleno con gran superficie específica y elevado índice de huecos, sobre el que se desarrolla la película biológica. El agua a tratar se distribuye por la parte superior, y al percolar a través del lecho se va depurando. Los organismos obtienen el O₂ necesario para el proceso del aire que circula a través del relleno. Para que el agua se distribuya por toda la superficie del lecho de la forma más uniforme posible, se usan distribuidores

fijos ó móviles si los lechos son rectangulares, o bien giratorios si los lechos son circulares. Los distribuidores giratorios funcionan por el principio de acción y reacción, impulsados por la salida del agua, para lo que requieren de una carga hidráulica adicional de 0.5 m. La velocidad de giro varía entre 0.3 - 5 vueltas por minuto, según la carga superficial.

La masa filtrante debe tener la mayor superficie posible, para tener la mayor densidad de película biológica, también es necesario un elevado índice que permita el paso del aire, el agua, y los flóculos que periódicamente se desprenden del medio poroso. Las alturas varían entre 1.5 - 4 m., siendo 2 m. la más usual.

El material de relleno puede ser muy variado: naturales como piedra silícea y material artificial como escorias o elementos plásticos fabricados especialmente. El tamaño de las piedras oscila entre 2.5 - 10 cm. de diámetro. Los materiales plásticos pueden reducir el peso en un 95%, duplicar el índice de huecos y, al mismo tiempo, aumentar la superficie específica, aunque su costo es superior.

A medida que la película aumenta de espesor, la materia orgánica adsorbida es metabolizada antes de que pueda alcanzar los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante. La consecuencia de no disponer de una fuente orgánica externa de carbono celular, es que los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante se encuentran en fase de crecimiento endógeno, en la que pierden su capacidad de adherirse a la superficie del medio. En estas condiciones, el líquido, a su paso a través del medio, arrastra la película y comienza el crecimiento de una nueva. Este fenómeno de pérdida de la película biológica es fundamentalmente función de la carga hidráulica y orgánica del filtro. La carga hidráulica origina las velocidades de arrastre y la carga orgánica influye en la velocidad del metabolismo en la película biológica.

BIODISCOS

El proceso consiste en una serie de discos (los usados actualmente suelen tener 3 m de diámetro y 1,5 mm de espesor) que giran en torno a un eje horizontal, situados dentro de un recipiente lleno de agua residual. Los discos giran lentamente (1 - 4 rpm), manteniendo un 40 % de su superficie sumergida. Sobre el soporte se desarrolla gradualmente una película de biomasa bacteriana, que emplea como sustrato para su metabolismo la materia orgánica soluble presente en el agua residual. Cuando la superficie del disco se encuentra en contacto con el aire, la biomasa adherida al mismo toma el oxígeno necesario para que durante el período de inmersión se produzca la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual. Se estima que el 95 % de la biomasa activa presente en el sistema se halla adherida, y el resto se encuentra en suspensión. La agitación producida por el giro del soporte dentro del líquido es suficiente para evitar la sedimentación de los lodos en el reactor.

El espesor de la película bacteriana activa oscila entre 0,2 mm (para concentraciones bajas de sustrato), y 3 mm (para concentraciones elevadas). El crecimiento bacteriano de la película continúa hasta que llega un momento en que su espesor es tal que se ve muy dificultada la difusión de oxígeno hasta las capas bacterianas más profundas. Estas capas entran en fase de respiración endógena, produciéndose fermentaciones y burbujeo gaseoso. En estas condiciones el esfuerzo cortante producido por la rotación del soporte en el seno del líquido, es suficiente para producir desprendimiento. Se origina así, un lodo que queda en suspensión, y que generalmente se extrae mediante clarificadores secundarios. Una vez desprendida la porción de película bacteriana, comienza en ese lugar el crecimiento de nueva biomasa y así indefinidamente, regulándose el espesor de la biopelícula de forma natural. El sistema tradicional son los discos paralelos. Los discos se construyen con fundición, asbestocemento, poliestireno expandido, polietileno, PVC y PRFV. Los más difundidos son los de polietileno, corrugados, con diámetros de 3 m, espesores de 1.5 mm y separaciones de 20-25 mm. para evitar cualquier posible atascamiento. Se han desarrollado también discos no planos, oblicuos,

corrugados, en algunos casos soldados con los discos vecinos para lograr mayores superficies de contacto con suficiente rigidez estructural y bajo peso. Con respecto al sistema de propulsión, el más usado es mediante grupos motorreductores que mueven el eje en forma directa o mediante transmisiones mecánicas. En algunas plantas se han instalado sistemas de propulsión mediante aire comprimido. Esto permite regular fácilmente la velocidad de rotación, dando mayor flexibilidad a la planta. En casos de cargas muy altas, se aplica una aireación suplementaria de la cuba mediante difusores. También se han ubicado los biodiscos en decantadores, convirtiendo la parte superior en reactor biológico, y conservando la función de decantación en la zona inferior.

LAGUNAJE

Las primeras lagunas de estabilización fueron, en realidad, embalses contruidos como sistemas reguladores de aguas para riegos, en los cuales se almacenaban los excedentes de agua residual utilizada en riegos directos, sin tratamiento previo. En el curso de este almacenamiento se observó que la calidad del agua mejoraba sustancialmente, por lo que empezó a estudiarse a posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales.

La finalidad de este sistema es degradar la materia orgánica mediante la actividad de bacterias heterótrofas presentes en el medio, es un método natural de tratamiento, basado en los mismos principios por los que tiene lugar la autodepuración en ríos y lagos. El tratamiento consiste en el almacenamiento de las aguas residuales durante un tiempo variable en función de la carga aplicada y las condiciones climáticas, de forma que se favorezca la acción bacteriana. Según la presencia de oxígeno disuelto en las lagunas de estabilización obtendremos diferentes tipos de mecanismos responsables de la depuración, los cuales se pueden clasificar en aerobios, facultativos y anaerobios. Además de esta clasificación básica también se utilizan otras relacionadas con sus características físicas, tales como la profundidad. Ambas clasificaciones están relacionadas, ya que las fuentes de oxígeno disuelto en lagunas son fenómenos

de superficie. Estas fuentes de oxígeno son la actividad de las algas microscópicas y la re-aireación a través de la interfase aire-agua.

3.1.3.2. Fangos activados, decantación secundaria

REACTOR BIOLÓGICO-DECANTADORES CLARIFICADORES.

En los sistemas convencionales, el agua procede de la decantación primaria, donde se ha eliminado una fracción importante de materia en suspensión y de la DBO de entrada. La entrada al reactor o reactores biológicos se realiza a través de una arqueta de reparto o canal de reparto que distribuye a cada reactor o cuba por medio de compuertas el caudal de entrada necesario.

En los sistemas convencionales se hace coincidir el punto de entrada de agua con la recirculación procedente de los clarificadores. En el reactor se realiza el aporte de oxígeno necesario para producir las reacciones de síntesis y oxidación, generando la biomasa necesaria que se encargará del proceso de eliminación de la contaminación carbonosa y nitrogenada (caso de procesos de nitrificación-desnitrificación). En todo el reactor, y especialmente en la zona final del mismo, se produce la agregación de bacterias floculantes que permitirán una decantación en los clarificadores, obteniendo un clarificado adecuado e el efluente final.

Una parte importante del sistema lo constituye la recirculación de fangos de los decantadores secundarios o clarificadores. Esta permite mantener una concentración adecuada de sólidos en el reactor. Se pueden distinguir dos operaciones distintas:

- **OXIDACIÓN BIOLÓGICA:** Se provoca el desarrollo de un cultivo biológico, formado por muchos y diversos μ -organismos que se agrupan en flóculos (fangos activados). Las bacterias se multiplican rápidamente y al principio están libres en el líquido, pero más tarde se aglutinan para formar el floculo. Se

considera que la floculación está causada por exopolímeros de origen natural segregados en la superficie celular de las bacterias. Se considera que este material polimérico se produce en la fase endógena de crecimiento (crecimiento con limitación de carbono). En el reactor biológico, la población bacteriana (Licor Mezcla, MLSS) se mantiene en un determinado nivel, para establecer un equilibrio entre la carga orgánica a eliminar y la cantidad de μ -organismos (Relación F / M). El tratamiento necesita un sistema de aireación y agitación para el aporte del oxígeno y capacidad de homogenización necesario que mantenga la acción depuradora de las bacterias aerobias.

- SEPARACIÓN SÓLIDO LÍQUIDO: Una vez oxidada la MO, el licor mezcla se envía a un decantador (decantador secundario), para permitir la separación agua- flóculo. De la calidad del flóculo generado se obtendrán mejores condiciones de sedimentación y un clarificado de mayor claridad en efluente final.

Los principales factores, a tener en cuenta para el dimensionamiento de los clarificadores son:

Caudales medio y punta

Las condiciones de diseño han de basarse en las peores condiciones posibles de caudal (caudal punta), ya que estas podrían dar lugar a pérdida de floculo por el vertedero.

Carga hidráulica o velocidad ascensional

Se define como el volumen de agua que trata el decantador, por m² de superficie y por unidad de tiempo (m³/ m²*h). Determina la superficie del decantador.

Carga de sólidos

Es la masa de sólidos en suspensión que trata el decantador por m² de superficie y por unidad de tiempo (kg ss/ m²*h). Tomar los valores máximos si la punta de carga es de larga duración.

Tiempo de retención hidráulica.

Determina el volumen del decantador. Valores habituales se dan en la tabla siguiente.

		Proceso convencional	Aeración prolongada
Carga superficial o velocidad ascensional	m ³ /m ² *h	Q _{med} <0.8 Q _{max} <1.5	Q _{med} <0.8 Q _{max} <1.6
Carga de sólidos	Kg/m ² *h	Q _{med} <2.5 Q _{max} <4.5	Q _{med} <1.8 Q _{max} <3.2
Tiempo de retención	h	Q _{max} <3	Q _{max} 3-5
Carga sobre vertedero	m ³ /m*h	Q _{med} <2.5 Q _{max} <4.5	

Tabla 7: Parámetros más importantes

Carga sobre vertedero.

Se define como el caudal de agua tratado por metro lineal de vertedero ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{h}$). Su correcto dimensionamiento evita los arrastres de sólidos por efecto de la velocidad de salida del efluente. La profundidad mínima debajo de los vertederos perimetrales debe ser superior a 3,0 m.

Calado del decantador

Es uno de los principales datos a tener en cuenta en el dimensionamiento. Debe estar dimensionado para permitir las fluctuaciones de caudal, variaciones de temperatura y de carga de sólidos. Son recomendables valores superiores a 3,0 m y es función del diámetro del decantador.

3.1.4. Tratamiento terciario

Tratamiento adecuado como el tratamiento de las aguas residuales urbanas, mediante cualquier proceso y/o sistema de eliminación, a través del cual, tras el vertido de dichas aguas al cauce receptor, se cumplan los objetivos de calidad requeridos y las disposiciones pertinentes de la presente y de las restantes Directivas comunitarias.

El objetivo perseguido por estos tratamientos es la eliminación de contaminantes específicos presentes en las aguas residuales, diseñados específicamente para los contaminantes específicos.

Se incluyen en los tratamientos terciarios:

3.1.4.1. Procesos de eliminación de compuestos fosforados nitrogenados

Cloración al punto de ruptura (break-point)

La cloración “al punto de ruptura” (también llamado “punto crítico” o desinfección con cloro sobrante) consiste en añadir el cloro con la dosis necesaria para que oxide todas las sustancias químicas presentes en el agua y quede al final una cierta cantidad de cloro residual libre (CRL) necesaria para para completar la oxidación de los compuestos difíciles de degradar y para prevenir cualquier contaminación posterior en depósitos de almacenamiento o red de distribución.

Dosis de precloración: 1 - 20 mg/lts

Dosis postcloración: 0.2 - 1 mg/lts

La gráfica que observamos en la página siguiente e denomina Curva de Demanda de Cloro (o curva break-point) y representa lo que le ocurre al cloro

que se añade a un agua que contiene una cierta cantidad de sustancias inorgánicas, amoníaco y sustancias orgánicas con las que reacciona.

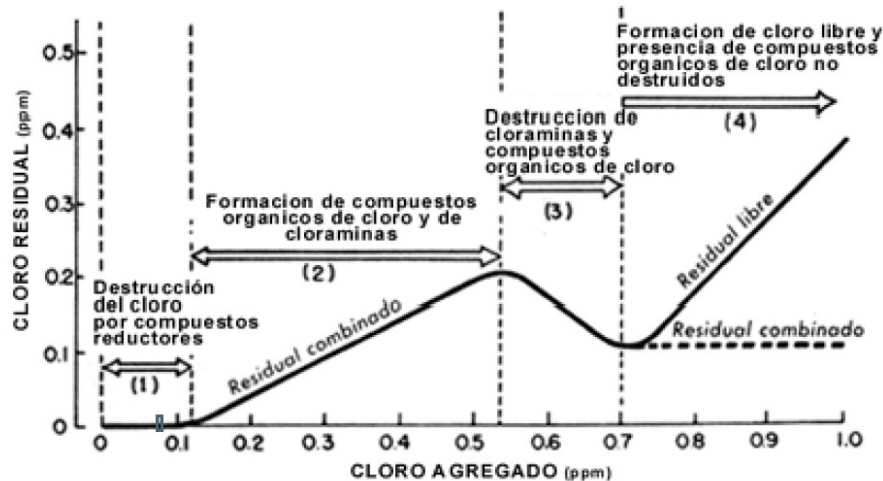
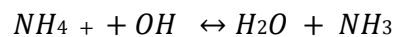


Ilustración 18: Curva de Demanda de Cloro

Eliminación de nitrógeno amoniacal por arrate de aire:

La extracción del amoníaco por arrastre con aire es un proceso simple de desorción que se utiliza para reducir el contenido de amoníaco en una corriente de agua residual. Algunas aguas residuales contienen grandes cantidades de amoníaco y/o de compuestos de nitrógeno que generan fácilmente nitrógeno amoniacal. A menudo es más fácil y menos costoso el remover el nitrógeno del agua residual en forma de amoníaco que el convertirlo a nitratos antes de su remoción.

El amoníaco (una base débil) reacciona con el agua (un ácido débil) para formar hidróxido de amonio. Para la extracción del amoníaco por arrastre con aire se añade cal viva o soda cáustica hasta cuando el agua residual llega a un pH de 10.8 a 11, lográndose la conversión de los iones de amonio a amoníaco gaseoso según la siguiente reacción:



La extracción del amoníaco por arrastre con aire es efectiva para aguas residuales con concentraciones de amoníaco entre 10 y 100 mg/l. Para un mayor contenido de amoníaco (más de 100 mg/l) puede ser más económico el uso de técnicas alternas de remoción tales como la extracción con vapor o los métodos biológicos. La extracción por arrastre con aire puede ser utilizada también para la remoción de muchas moléculas orgánicas hidrofóbicas

Eliminación mediante intercambio iónico de nitrógeno amoniacales

Un proceso en el que los iones amonio del agua residual desplazan los iones de las resinas. El sistema puede ser continuo o discontinuo, y las resinas pueden ser sintéticas o naturales. Una resina natural que se suele utilizar es la clinoptilolita, es una zeolita natural, presenta gran afinidad por los iones amonio. Se suelen utilizar sistemas de regeneración de resinas.

Bioeliminación de nitrógeno y fosforo

En la eliminación de nitrógeno por el proceso de nitrificación-desnitrificación la **nitrificación** es el primer paso.

- Descripción del proceso

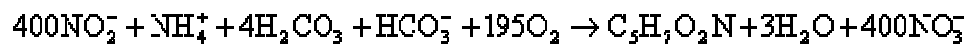
Para que se produzca la nitrificación es necesaria la actuación de las bacterias Nitrosomas y Nitrobáct.

Los Nitrosomas oxidan el amoníaco en nitrito (producto intermedio), mientras que los Nitrobáct transforman el nitrito en nitrato. De forma aproximada estas son las reacciones que tienen lugar:

Para los Nitrosomas, la ecuación es la siguiente:



Para los Nitrobáct, la ecuación es:



Es necesario tener presente que la transformación de nitrógeno amoniacal en nitrógeno en forma de nitrato no supone la eliminación del nitrógeno, aunque sí permite eliminar su demanda de oxígeno.

Las bacterias nitrificantes son muy sensibles a gran cantidad de sustancias inhibitoras, que pueden llegar a impedir el crecimiento y su actividad. Pueden resultar inhibitoras altas concentraciones de amoníaco y de ácido nitroso, siendo también importante el efecto del pH. La cuantificación de esta influencia es difícil de establecer.

Para que se produzca la nitrificación, es fundamental que existan concentraciones de oxígeno disuelto (OD) por encima de 1 mg/l. Si el nivel de OD es inferior a este valor, el oxígeno se convierte en el nutriente limitante del proceso, y puede producirse el cese o la ralentización de la nitrificación.

- Aplicación del proceso

La nitrificación se puede realizar tanto en procesos de cultivo en suspensión como en procesos de cultivo fijo.

Cuando la nitrificación se produce en un proceso de cultivo en suspensión, existe la posibilidad realizarse en el mismo reactor empleado para el tratamiento biológico o en un reactor independiente situado a continuación del proceso de fangos activados convencional. La oxidación del amoníaco a nitrato se puede llevar a cabo con aire o con oxígeno puro.

Al igual que en el caso de los reactores de cultivos en suspensión, la nitrificación se puede conseguir en el reactor de cultivo fijo empleado para la eliminación de materia carbonada, o en un reactor independiente.

Oxidación del carbono y nitrificación en una sola etapa

Los procesos de cultivo en suspensión más empleados para realizar la nitrificación son el de flujo en pistón convencional, mezcla completa, aireación prolongada, y numerosas variantes de canales de oxidación.

Para que se produzca la nitrificación, lo único que se precisa es mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento de los organismos nitrificantes. Por ejemplo, en la mayoría de los climas cálidos, se puede conseguir una mayor nitrificación incrementando el tiempo de retención celular y el aporte de aire.

Para los procesos combinados de oxidación de carbono y nitrificación se suelen emplear los filtros percoladores y los biodiscos, ambos sistemas de película fija. Al igual que en el caso de los procesos de cultivo en suspensión, la nitrificación se puede conseguir o mejorar en los procesos de cultivo fijo ajustando los parámetros de funcionamiento. Normalmente, la nitrificación se puede conseguir reduciendo la carga aplicada.

Nitrificación en etapas separadas

Para la nitrificación en etapas separadas se emplean tanto procesos de cultivo en suspensión como de película fija. La nitrificación en un reactor independiente permite una mayor flexibilidad y fiabilidad del proceso, y cada uno de los procesos (oxidación del carbono y nitrificación) se pueden llevar a cabo independientemente con el fin de obtener un rendimiento óptimo. La materia orgánica biodegradable se elimina en la etapa de oxidación del carbono, por lo que este sistema elimina los problemas de toxicidad para las bacterias nitrificantes.

Es importante conocer el grado de eliminación de carbono orgánico en la etapa de oxidación ya que afectará a la elección y explotación del proceso de nitrificación.

En los reactores de película fija puede ser ventajoso niveles bajos de carbono en el afluente al proceso de nitrificación, ya que se consigue la eliminación de las necesidades de clarificación posterior a la nitrificación. En cambio, en reactores

de cultivo en suspensión, niveles bajos de carbono en el afluente pueden romper el equilibrio entre los sólidos perdidos en la decantación y los sólidos sintetizados en el reactor. A menudo, esta falta de equilibrio obliga a una purga constante o al aumento de la DBO en el afluente al reactor de nitrificación para mantener el contenido de sólidos biológicos en el sistema.

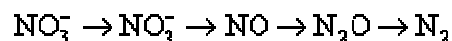
La **desnitrificación** es la segunda etapa de la eliminación del nitrógeno mediante el proceso de nitrificación-desnitrificación. En la siguiente discusión se aborda el estudio del proceso de desnitrificación y sus aplicaciones.

- Descripción del proceso

Se conoce con el nombre de desnitrificación al proceso por el cual el nitrato se convierte en nitrógeno gas. Este proceso se consigue bajo condiciones anóxicas (sin oxígeno).

La conversión del nitrógeno, en forma de nitratos, a formas más rápidamente eliminables se puede llevar a cabo gracias a la acción de diversos géneros de bacterias. De entre ellas, se pueden destacar: *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Alcalibacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas* y *Spirillum*. Estas bacterias heterótrofas son capaces de la reducción del nitrato, que es un proceso de dos etapas. El primer paso consiste en la conversión de nitrato en nitrito, y a continuación se producen óxido nitroso y nitrógeno gas.

El proceso de reducción del nitrógeno es el siguiente:



Los tres últimos compuestos son gaseosos, y se pueden liberar a la atmósfera.

La presencia de oxígeno disuelto en el proceso suprime el sistema enzimático necesario para el desarrollo de la desnitrificación. La alcalinidad se produce durante la conversión de nitrato en nitrógeno gas, lo cual provoca un aumento del pH. El pH óptimo se sitúa entre 7 y 8, con diferentes valores óptimos que dependen de las diferentes poblaciones bacterianas posibles. La temperatura afecta a la tasa de eliminación del nitrato y a la de crecimiento microbiano. Los organismos son sensibles a los cambios de temperatura.

- Aplicación del proceso

Los procesos de desnitrificación se pueden clasificar teniendo en cuenta si los cultivos son fijos o en suspensión. La desnitrificación con cultivos en suspensión se suele llevar a cabo en sistemas de fangos activados de flujo en pistón. Las bacterias anaerobias obtienen la energía para el crecimiento a partir de la conversión de nitrato en nitrógeno gas, pero necesitan una fuente de carbono para la síntesis celular.

Es necesario disponer de una fuente externa de carbono ya que los efluentes nitrificados suelen presentar concentraciones bajas de materia carbonosa. En algunos sistemas se emplea el agua residual cruda como fuente.

La desnitrificación con cultivo fijo se lleva a cabo en un reactor en columna que contiene piedras o alguno de los diversos materiales sintéticos sobre los que crecen las bacterias. El arrastre de sólidos con el efluente produce un efecto de purga de aquéllos. Al igual que sucedía con la desnitrificación de cultivos en suspensión, también suele ser necesaria alguna fuente externa de carbono. La mayoría de las aplicaciones de este proceso adoptan el sistema de flujo descendente, aunque también se emplean técnicas de lecho expandido.

a nitrificación/desnitrificación biológica suele ser el método más adecuado para la eliminación de nitrógeno por las siguientes razones:

- Elevado rendimiento potencial de eliminación.
- Alta estabilidad y fiabilidad del proceso.
- Relativa facilidad de control del proceso.
- Reducidas necesidades de espacio.
- Coste moderado.

La eliminación del nitrógeno por nitrificación-desnitrificación biológica es un proceso de dos etapas. En la primera etapa el nitrógeno amoniacal pasa a nitrato (nitrificación). En la segunda etapa, los nitratos se convierten a nitrógeno gas (desnitrificación).

Clasificación de los procesos de nitrificación/desnitrificación

La clasificación de los procesos se llevará a cabo atendiendo a si la desnitrificación se consigue en sistemas de oxidación de carbono y nitrificación-desnitrificación conjuntos que emplean fuentes de carbono internas y endógenas, o en reactores separados, empleando metanol u otra fuente de carbono orgánico externa adecuada.

Los sistemas conjuntos se suelen llamar “sistemas de fango único”, y los sistemas de nitrificación/desnitrificación que emplean reactores separados suelen recibir el nombre de “sistemas de etapas separadas o de dos fangos”. Es necesario hacer constar que los fangos que se producen en los sistemas de fangos separados tienen características diferentes.

Eliminación del fósforo

El fósforo se presenta en el agua residual en forma de ortofosfato (PO_4^{3-}), polifosfatos ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$) y formas orgánicas de fósforo. Los dos últimos términos engloban hasta el 70% del fósforo contenido en el agua residual. Los microbios utilizan el fósforo para la síntesis celular y en el transporte de energía. Por ello entre el 10 y 30% del fósforo presente se elimina durante el tratamiento biológico secundario. Para conseguir niveles de fósforo bajos en el efluente, es necesario eliminar más cantidad de la estrictamente necesaria para el mantenimiento y síntesis celular. La eliminación biológica del fósforo se consigue generando en los reactores las condiciones ambientales adecuadas de manera secuencial.

- Descripción del proceso

Uno de los organismos responsables de la eliminación del fósforo son los Acinetobácter. Estos organismos liberan el fósforo almacenado como respuesta, en condiciones anaerobias, a la presencia en el agua residual de ácidos grasos volátiles (AGV). En su competencia por la supervivencia con los organismos heterótrofos, los AGV son un substrato importante para los Acinetobácter. Cuando una zona aeróbica (óxica) sigue a una zona anaerobia, los organismos consumen mayores cantidades de fósforo de lo habitual. Los microorganismos no sólo utilizan el fósforo para el mantenimiento celular, síntesis celular y transporte de energía, sino que también lo almacenan para su uso posterior. El fango que contiene el exceso de fósforo se purga o se evacúa a una línea de fango auxiliar para eliminarlo. La liberación del fósforo se realiza bajo condiciones anóxicas. Por lo tanto, el proceso biológico de eliminación de fósforo hace necesario poder disponer de reactores o zonas anaerobias y aerobias dentro del mismo reactor.

Existen dos mecanismos de eliminación del fósforo: la purga de fango, y el tratamiento en línea auxiliar. Actualmente existen una serie de procesos que se basan en alguno de estos mecanismos. Dos de estos procesos son el PhoStrip y el Bardenpho. Ambos procesos, realizan la secuencia entre los contactos anaerobios y aerobios con pequeñas modificaciones.

En el **proceso PhoStrip**, se usa la liberación biológica del fósforo en condiciones anóxicas para concentrar el nutriente en una línea auxiliar para su tratamiento químico. Normalmente se suele añadir cal para la precipitación del fósforo.

En el **proceso Bardenpho**, para conseguir la eliminación, tanto del nitrógeno como del fósforo, se sigue una secuencia de condiciones anaerobias, anóxicas y aerobias. El fósforo se elimina mediante la purga del fango.

3.1.4.2. Procesos de membrana

Los sistemas de membrana para el tratamiento de agua originalmente se usaron únicamente en proyectos de desalinización. Pero las mejoras en la tecnología de membranas los ha convertido en una opción cada vez más popular para la eliminación de microorganismos, particulados y materiales orgánicos naturales que afectan el sabor del agua y enturbian su claridad.

Las membranas para el tratamiento del agua son láminas delgadas de material que permiten separar los contaminantes según sus características como el tamaño o la carga eléctrica. El agua pasa a través de una membrana; pero dependiendo de su tamaño, las partículas de mayor tamaño, los microorganismos y otros contaminantes quedan separados.

Algunos de estos sistemas son accionados a presión, dependiendo de la presión del agua para separar las partículas según su tamaño.

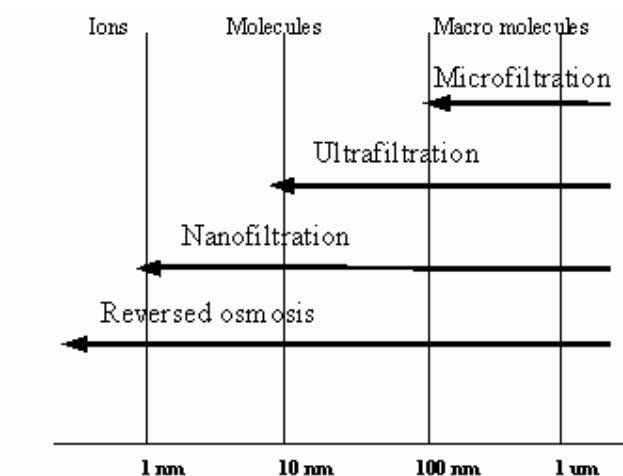


Ilustración 19: Separación de partículas según su tamaño

El principio de la micro y ultrafiltración es la separación física. Es el tamaño de poro de la membrana lo que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente. Las sustancias que son más pequeñas que los poros de la membrana son retenidas

parcialmente, dependiendo de la construcción de una capa de rechazo en la membrana.

La microfiltración y la ultrafiltración son procesos dependientes de la temperatura, que retienen sólidos disueltos y otras sustancias del agua en menor medida que la nano filtración y la ósmosis inversa.

Las membranas usadas para la microfiltración tienen un tamaño de poro de 0.1 – 10 μm . Estas membranas de microfiltración retienen todas las bacterias. Parte de la contaminación viral es atrapada en el proceso, a pesar de que los virus son más pequeños que los poros de la membrana de microfiltración. Esto es porque los virus se pueden acoplar a las bacterias.

La **microfiltración** puede ser aplicada a muchos tipos diferentes de tratamientos de agua cuando se necesita retirar de un líquido las partículas de un diámetro superior a 0.1 mm.

Algunos ejemplos de aplicaciones de la microfiltración son:

Esterilización por frío de bebidas y productos farmacéuticos.

Aclaramiento de zumos de frutas, vinos y cerveza.

Separación de bacterias del agua (tratamiento biológico de aguas residuales).

Tratamiento de efluentes.

Separación de emulsiones de agua y aceite.

Pre-tratamiento del agua para nano filtración y ósmosis inversa.

Separación sólido-líquido para farmacias e industrias alimentarias.

Para la eliminación completa de los virus, se requiere la **ultrafiltración**. Los poros de las membranas de ultrafiltración pueden retirar de los fluidos partículas de 0.001 – 0.1 μm .

Ejemplos de campos en los que se aplica la ultrafiltración son:

La industria de productos lácteos (leche, queso)

La industria alimentaria (proteínas)

La industria del metal (separación de emulsiones agua/aceite, tratamiento de pinturas)

La industria textil.

La **nano filtración** es una técnica usada principalmente para la separación de dos valorados iones, y los grandes mono valorados iones como los metales pesados. Esta técnica puede ser vista como una vasta osmosis inversa de membrana.

Porque la nano filtración usa menos finas membranas, la presión introducida de el sistema NF es generalmente menor comparado con los sistemas de osmosis inversa. También la velocidad de la suciedad es menor comparado con los sistemas de osmosis inversa.

Las aplicaciones para los sistemas de NF

Ablandamiento

Separación específica de metales pesados por proceso de chorro para la reutilización del agua.

Reducción de contenidos de sales de la ligera agua salobre.

La típica realización de membrana para los sistemas de NF son del 50% de NaCl de separación y 90% (o más) para el CaSO_4

Hay dos tipos de membranas

Membranas de espiral, de peor cálida pero más sensitivas con la polución

Tubular/ membranas de paja, las más usadas membranas vistas, los costes y el efecto, no deberían fácilmente ser contaminada.

Las superficies del filtro determinan la capacidad del filtro. Las membranas en espiral tienen la mayor superficie de área en general y es además el más barato en uso. La superficie de área desde las membranas tubulares/paja es menor en general.

La pre purificación de la alimentación del agua tiene una influencia de la actuación de la instalación. La necesidad de la pre purificación depende de la alimentación de la calidad del agua.

Instalación de pre limpieza tienen las siguientes ventajas

- Larga vida
- Larga producción de la instalación es posible
- manejo simple
- Además de la pre limpieza, una dosis química puede ser cogida para prevenir la escala, precipitación en la superficie para la membrana.

Un sistema de membrana consiste en algunos compuestos básicos.

- Bomba de alimentación
- Elementos de membranas compilados en las vasijas de presión.
- Tuberías
- Sistemas de limpieza

Los sistemas de **ósmosis inversa** son membranas densas que eliminan casi todos los contaminantes inorgánicos y casi todo excepto las moléculas orgánicas de menor tamaño.

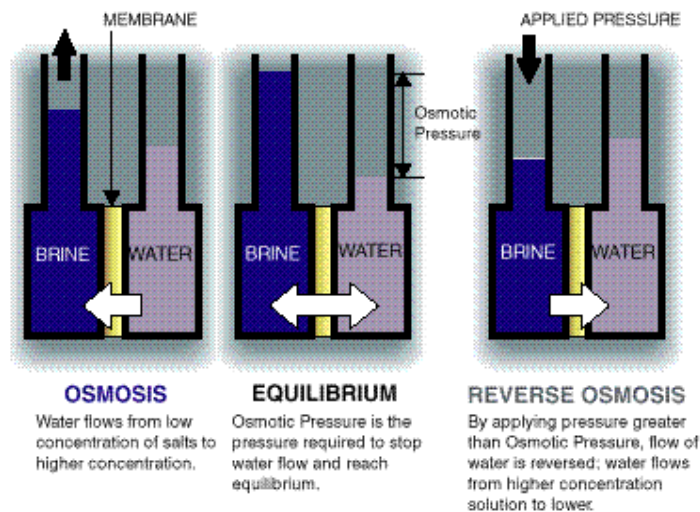
El fenómeno de la Ósmosis está basado en la búsqueda del equilibrio. Cuando se ponen en contacto dos fluidos con diferentes concentraciones de sólidos disueltos se mezclarán hasta que la concentración sea uniforme. Si estos fluidos están separados por una membrana permeable (la cual permite el paso a su través de uno de los fluidos), el fluido que se moverá a través de la membrana será el de menor concentración de tal forma que pasa al fluido de mayor concentración

Al cabo de un tiempo el contenido en agua será mayor en uno de los lados de la membrana. La diferencia de altura entre ambos fluidos se conoce como Presión Osmótica.

Si se utiliza una presión superior a la presión osmótica, se produce el efecto contrario. Los fluidos se presionan a través de la membrana, mientras que los sólidos disueltos quedan atrás.

Para poder purificar el agua necesitamos llevar a cabo el proceso contrario al de la ósmosis convencional, es lo que se conoce como Ósmosis Inversa. Se trata de un proceso con membranas. Para poder forzar el paso del agua que se encuentra en la corriente de salmuera a la corriente de agua con baja concentración de sal, es necesario presurizar el agua a un valor superior al de la presión osmótica. Como consecuencia a este proceso, la salmuera se concentrará más.

Por ejemplo, la presión de operación del agua de mar es de 60 bar.



20 Procesos de osmosis

1. El agua fluye de una columna con un bajo contenido de sólidos disueltos a una columna con una elevada concentración de sólidos disueltos.
2. La presión osmotica es la aplicada para evitar que el agua siga fluyendo a través de la membrana y de esta forma crear un equilibrio.

3. Para poder alcanzar una presión superior a la presión osmótica, el agua debe fluir en sentido contrario. El agua fluye de la columna con un alto contenido en sólidos disueltos a la columna con bajo contenido en sólidos disueltos.

La **electrodialisis** combina la tecnología de membranas con la aplicación de corriente eléctrica, para separar los contaminantes según su carga eléctrica. A diferencia de otros procesos de membrana, el agua de manantial nunca pasa a través de las membranas durante la electrodialisis. Esta opción no se usa tanto en instalaciones de tratamiento de agua de gran escala por el contrario, se usa principalmente en aplicaciones médicas y de laboratorio que necesitan agua de gran pureza.

Las membranas, especialmente las de ósmosis inversa y la nanofiltración, pueden ser una buena opción para sistemas de tratamiento de agua en menor escala que enfrentan una amplia gama de contaminantes. Sin embargo, ellos producen a menudo mayores volúmenes de aguas de desecho (o “concentrado”) que la mayoría de otros sistemas de tratamiento (hasta el 15 por ciento del volumen total de agua tratada) y se pueden obstruir con arcilla o con materiales orgánicos si el agua fuente rica en partículas no se filtra primero.

Usualmente, el mantenimiento no es difícil, pero puede ser de alto costo dado que la primera acción necesaria consiste en reemplazar la membrana según sea necesario. Los problemas de mantenimiento tienden a involucrar membranas con fugas y contaminadas.

3.1.4.3. Procesos de oxidación y reducción.

En determinados casos, debido a la complejidad de las aguas o a la presencia de contaminantes específicos como, por ejemplo, los pesticidas, no son adecuados los tratamientos convencionales y son necesarias técnicas de oxidación avanzada que garanticen su reducción y/o eliminación con el objetivo final de reutilizar o verter el agua tratada.

Los Procesos de Oxidación Avanzada (Advanced Oxidation Processes (AOPs)) implican la generación de radicales hidroxilo ($\text{OH}\cdot$), de potencial de oxidación mucho mayor que el de otros oxidantes tradicionales (ozono, peróxido de hidrógeno, cloros). Los AOPs son procesos físico-químicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes.



21 Procesos de oxidación y reducción.

Aplicaciones

- Reducción / eliminación de contaminantes persistentes, refractarios que no son tratables mediante procesos físico-químicos y biológicos convencionales (pesticidas, fármacos, surfactantes, etc).
- Aumentar la biodegradabilidad de las aguas para poder ser tratadas mediante procesos biológicos convencionales.
- Mejorar la calidad de las aguas tratadas: post-tratamientos de los vertidos tratados para su reutilización.

En general, los procesos de oxidación avanzada han seguido dos vías de desarrollo.

Fotones, electrones y combinaciones de éstos (O_3/UV , $O_3/H_2O_2/UV$, H_2O_2/UV) para iniciar el proceso de oxidación.

Oxidación húmeda, tanto en condiciones subcríticas como supercríticas.

Las principales ventajas de los POA son las siguientes:

- Capacidad potencial para llevar a cabo una profunda mineralización de los contaminantes orgánicos y oxidación de compuestos inorgánicos hasta dióxido de carbono e iones (cloruros, nitratos...).
- Reactividad con la inmensa mayoría de compuestos orgánicos, hecho especialmente interesante dado que el tratamiento biológico secundario y los tratamientos químicos convencionales no consiguen una adecuada degradación de ciertos contaminantes.
- Descomposición de los reactivos utilizados como oxidantes en productos inocuos.

Por otro lado, presentan el inconveniente de un elevado coste, especialmente en lo que respecta al ozono y la radiación ultravioleta.

Entre los procesos de oxidación avanzada con mayores perspectivas de futuro se encuentra la foto-oxidación en sus dos variantes: fotólisis y fotocatalisis, tanto homogénea ($UV-H_2O_2$, Fotofenton, como heterogénea ($UV-TiO_2$). En el presente documento se ha realizado una revisión de los POA, centrándonos en el estudio de los procesos de fotooxidación.

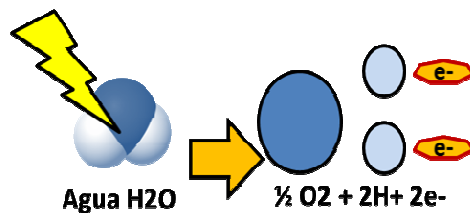
En general, en el tratamiento de efluentes industriales se precisa de reacciones oxidativas energéticas. Si bien en algunos casos la fotólisis (oxidación por radiación UV) ha dado buenos resultados, normalmente no es suficiente para conseguir la ruptura de los enlaces más estables, de ahí que sea necesaria la adición de un catalizador que mejore la eficiencia del proceso. En este caso se habla de fotocatalisis, que a su vez puede ser homogénea, donde el oxidante adicional

(H_2O_2 , O_3) y el catalizador (sales de Fe) están en disolución, o heterogénea, cuando el catalizador no se encuentra en fase acuosa (TiO_2 , Al_2O_3).

En consecuencia, el desarrollo de la aplicación de la radiación UV al tratamiento de efluentes industriales pasa fundamentalmente por la combinación de ésta con el efecto producido por la adición de otros oxidantes, de ahí la denominación "procesos de oxidación avanzada". Entre los oxidantes utilizados junto a la radiación UV destacan sobremanera el ozono y el peróxido de hidrógeno. Además, se pueden encontrar aplicaciones del H₂O₂ bien sólo o en combinación con una sal de hierro, dando lugar a lo que se conoce como Fotofenton.

Fotólisis.

Fotólisis del Agua



22 Fotólisis

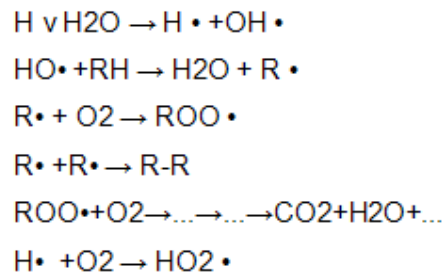
En presencia de radiación UV se produce la fotólisis de un gran número de compuestos orgánicos. El proceso, que tiene lugar en el [dominio](#) del UV-C (210-230 nm), se basa en la formación de radicales C-centrados.

La eficacia del proceso depende fundamentalmente de la capacidad de absorción de radiación del sustrato y de la presencia de otros compuestos que absorben a la misma longitud de onda.

En los tratamientos de oxidación fotolíticos normalmente se utilizan lámparas de vapor de mercurio de baja presión (254 nm, 471 kJ/mol), empleadas tanto en desinfección como en depuración de aguas. Sin embargo, es deseable llegar a longitudes más bajas (170-200 nm), ya que llevan asociada una mayor energía (704-598 kJ/mol) y son más eficaces en la rotura de los enlaces de los compuestos orgánicos. Por tanto, una de las líneas de trabajo actual en esta tecnología se centra en desarrollar lámparas más eficaces para estos usos.

En consecuencia, el empleo de tratamientos de oxidación y desinfección fotolítica está condicionado por la transmisividad de las aguas a tratar (especialmente si el contenido en sólidos en suspensión es elevado) y el desarrollo tecnológico de las lámparas. Asimismo, la mejora en la eficiencia del sistema pasa por el desarrollo de nuevos catalizadores y disposiciones de éstos que mejoren los rendimientos obtenidos.

Un aspecto a tener muy en cuenta es la presencia de oxígeno en el proceso de oxidación, y fundamentalmente en la fotólisis. Se ha probado la existencia de diferentes reacciones en función de la distancia a la fuente de radiación, debido a la di- concentración de oxígeno presente. Durante la fotólisis de la materia orgánica disuelta se representan las siguientes reacciones:



Los radicales hidroxilos generados por la rotura de las moléculas de H₂O en presencia de radiación UV reaccionan con el sustrato orgánico (RH). Como resultado, se forman radicales C-centrados que reaccionan con el oxígeno molecular disuelto generando radicales peroxilo, los cuales son bastante estables. Si el O₂ disuelto está ausente o en concentración insuficiente de oxígeno disuelto, estos radicales C-centrados pueden reaccionar, bien por recombinación, bien por dismutación. Estas reacciones secundarias conducen a la formación de oligómeros y polímeros que pueden precipitar sobre la superficie de la lámpara, reduciendo el flujo de fotones incidentes. Por otra parte, los radicales peroxilo son iniciadores de las reacciones térmicas en cadena, aumentando el porcentaje de mineralización. Además, el oxígeno reacciona con los átomos de hidrógeno, lo cual resulta favorable para la mayoría de las reacciones de reducción.

Fotocatálisis homogénea con peróxido de hidrógeno.

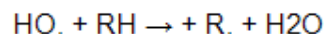
El peróxido de hidrógeno es un potente agente oxidante no selectivo y una buena fuente de radicales libres. Es además un aditivo deseable ecológicamente, ya que genera en su descomposición únicamente agua y/o oxígeno.

Desde finales de los años sesenta, numerosos autores han estudiado la fotooxidación con peróxido de hidrógeno. El éxito del proceso radica en la formación estequiométrica de radicales hidroxilo ($\text{OH}\cdot$) a partir de la descomposición foto-catalítica del H_2O_2

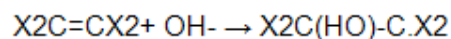
El rendimiento cuántico de este proceso es muy elevado, formándose como máximo dos radicales hidroxilo por cuanto absorbido, e invariable con la longitud de onda aplicada.

Al igual que en la fotólisis, a partir de los ($\text{OH}\cdot$) se forman los radicales C-centrados, que en presencia de oxígeno generan radicales peroxilo, intermedios claves en las reacciones de oxidación, y la completa mineralización de los compuestos. Los radicales hidroxilos reaccionan con la materia orgánica según las siguientes reacciones generales:

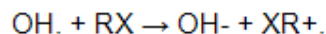
- Abstracción del hidrógeno:



- Adición:



- Transferencia de electrones:



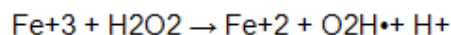
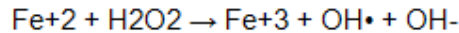
Cabe señalar que los radicales hidroxilos no reaccionan, o lo hacen lentamente, con alcanos polio per-clorados o fluorados, ya que no pueden generar radicales C-centrados por abstracción del halógeno.

Finalmente, aunque habitualmente en la activación del peróxido de hidrógeno se emplea una longitud de onda de 254 nm, se obtendrían mejores resultados a

longitudes de onda más energéticas, de 210 a 230 nm, que aumentan la sección transversal de absorción de dicho compuesto.

Fotocatálisis homogénea con reactivo Fenton (Fotofenton).

La adición de sales de hierro como catalizador en presencia de peróxido de hidrógeno, conocida como reactivo Fenton, es uno de los métodos clásicos de producción de radicales hidroxilo, resultando así uno de los agentes oxidantes más potentes a pH ácido (pH 3-5). El hierro puede ser añadido como sal ferrosa o férrica, siguiendo las siguientes reacciones:



Estos radicales inician una cadena de reacciones para eliminar toda la materia oxidable. En concreto, los radicales hidroxilo reaccionan con compuestos orgánicos, generando radicales orgánicos (C-centrados) que aceleran el grado de oxidación.

Aunque el reactivo Fenton es un potente e indiscriminado agente oxidante, existen especies resistentes al mismo como los alcanos clorados (tetracloroetano, tricloroetano, cloroformo), n-parafinas y ácidos carboxílicos de cadena corta (maleico, oxálico, acético, malónico).

Recientemente se ha descubierto cómo la radiación UV/visible acelera las reacciones Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+3}$, Fe^{+2}), favoreciéndose así el grado de degradación de contaminantes orgánicos, incluidos compuestos aromáticos y alifáticos. Este reactivo presenta una mayor efectividad a pH ácido. Sin embargo, la aparición de hidróxidos de hierro como precipitados coloidales hace necesaria su separación mediante un proceso adicional de tipo coagulación, sedimentación o filtración. Además, algunos intermedios de reacción pueden alterar la reactividad del hierro debido a la formación de complejos.

Otras técnicas de oxidación avanzada.

Además de los procesos fotocatalíticos, existen otras técnicas de oxidación avanzada con probada implantación o en fase de desarrollo. A continuación se describen brevemente las más representativas.

Ozonización

El ozono es una variedad alotrópica del oxígeno con un poder oxidante superior al de éste. Desde principios de siglo es conocida su acción desinfectante; sin embargo, es en los últimos veinte años cuando este agente químico ha adquirido una gran importancia en el tratamiento de aguas.

A pesar de su elevado poder oxidante, las reacciones del ozono con la materia orgánica son bastante selectivas y dependen considerablemente del pH del medio. Este hecho, junto con el elevado consumo energético requerido para su producción a partir de oxígeno, ha provocado su utilización en el tratamiento de aguas residuales en combinación con otros oxidantes (UV, H_2O_2), que contribuyen a aumentar la eficiencia del proceso, centrando la degradación en el poder oxidante del radical hidroxilo (menos selectivo) y no propiamente del ozono.

Oxidación húmeda

En estos procesos, las aguas residuales con carga orgánica se mezclan con aire u oxígeno a altas presiones (en torno a 15 bar) y altas temperaturas (entre 175 y 325°C). Bajo estas condiciones se consigue la total oxidación de una gran variedad de compuestos orgánicos.

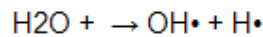
Oxidación electroquímica

La oxidación anódica ha sido estudiada como un método adecuado para la destrucción de compuestos orgánicos en efluentes industriales. Esta técnica supone la transferencia directa de un electrón desde el compuesto orgánico hasta el electrodo, formándose así un radical catiónico. Entre las desventajas

que presentan este tipo de procesos destaca la dificultad en conseguirse la completa mineralización de los compuestos a tratar.

Oxidación por ultrasonidos

En los últimos años se está investigando sobre la oxidación de aguas residuales mediante la técnica de ultrasonidos. Numerosos autores han estudiado cómo esta tecnología posibilita la oxidación de numerosos contaminantes orgánicos, debido a la formación de radicales hidroxilo por ruptura de la molécula de agua:



Su eficiencia depende de parámetros como frecuencia e intensidad de las ondas, gas saturado en la solución acuosa, presencia de catalizador, pH, temperatura, fuerza iónica y concentración inicial de los contaminantes.

La combinación de ultrasonidos con otros agentes oxidantes (H_2O_2 , O_3 , reactivo Fenton) o incluso con otros procesos degradativos (foto-oxidativos, presentan a esta técnica como una nueva y potencial herramienta para la degradación de efluentes contaminados.

Conclusiones

Con los procesos de oxidación avanzada se pueden tener las siguientes ventajas:

- Puede alcanzarse la mineralización total de los contaminantes orgánicos.
- Usualmente no generan lodos que requieren tratamiento y/o eliminación.
- Son muy útiles para eliminar contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento, principalmente el biológico.
- Sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración.
- Se usan para disminuir la toxicidad de los efluentes

3.1.4.4. Desinfección

Las aguas residuales sin tratar son la principal causa de enfermedad y contaminación en todo el mundo. Tanto procesos residenciales como industriales crean vastas corrientes de agua contaminada que se debe limpiar. La desinfección de aguas residuales es un proceso costoso y complejo. Podemos distinguir los siguientes tipos de tecnologías para la desinfección de aguas.

Desinfección física

Los filtros y las mallas son métodos físicos para limpiar aguas residuales. En sistemas sépticos, ciertos tipos de suelo rodean el tanque y limpian naturalmente las descargas de agua. La arcilla y la arena frenan el avance del agua residual, lo que permite que las bacterias y otros microorganismos consuman los agentes patógenos. Hervir el agua es otro método para desinfectar aguas residuales. A gran escala, sin embargo, este proceso es ineficiente. Ninguno de estos métodos físicos de desinfección son suficientes para que el agua recupere su calidad de cristalina.

Cloración

La desinfección química ha sido método para el tratamiento de aguas residuales por excelencia desde comienzos del siglo XX. La cloración es efectiva para matar la mayoría de las bacterias, virus y protozoos que ponen en riesgo la salud humana. La desventaja de la cloración como desinfectante es que se debe eliminar antes de que el agua sea liberada para su consumo, el cloro en sí mismo es un compuesto tóxico. Hasta las concentraciones químicas más bajas pueden ser letales para la vida marina. El bisulfito sódico que se le agrega al agua elimina los residuos de cloro.

Radiación ultravioleta

La misma radiación que hace broncear la piel se puede emplear para desinfectar aguas residuales. Las lámparas ultravioletas que se sumergen en agua sucia matan prácticamente a todos los organismos perjudiciales. La radiación ultravioleta es al menos tan efectiva como el cloro y no deja residuos tóxicos. El costo es un factor determinante para que este método no se emplee a gran escala. Para instalaciones de tratamiento pequeñas, con presupuestos limitados, el cloro sigue siendo una solución económica para la desinfección de aguas residuales.

Ozono

Recientemente, el ozono ha comenzado a acaparar la atención como método para la desinfección de aguas residuales. El ozono es un gas que se compone de tres átomos de oxígeno. Es altamente energético, por lo que tiene la capacidad de destrozarse a la mayoría de los microorganismos. El ozono tampoco deja residuos en el agua. De hecho, el ozono aumenta la cantidad de oxígeno del agua, un beneficio secundario de la desinfección. A pesar de sus ventajas, el ozono es un desinfectante no competitivo en términos de costos con el cloro o la radiación ultravioleta. Algunas instalaciones grandes de los Estados Unidos realizan experimentos con ozono para usarlo como una herramienta adicional del proceso de tratamiento.

3.1.4.5. Procesos de adsorción

La filtración por carbón activo se emplea en el tratamiento de aguas, debido a su gran capacidad de adsorción de diversos elementos, sumado a la posibilidad de limpieza del lecho filtrante con gran facilidad y rapidez, así como a la capacidad de regeneración del mismo.

En el ámbito del tratamiento de aguas, estos procesos se emplean para depuraciones de agua subterránea, purificaciones del caudal final de las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable, decloraciones del agua,

depuración de aguas para piscinas, refinamiento de las aguas residuales tratadas, etc.

El carbón activo se compone en un 75-80% de carbono y un 5-10% de cenizas. Físicamente se presenta en polvo o en grano. Existen varios tipos de carbón activo, según la materia prima, el tipo de activación y la duración del proceso de activación, pero, en cualquier caso, se caracteriza por su pequeño y homogéneo calibre y su estructura interna, formada por un gran número de poros de tamaños similares que puede alcanzar una superficie interna entre 500 y 1.500 m²/g. Estos poros se dividen según su tamaño en macro poros, con un radio mayor a 25 nm, meso poros, entre 25 y 1 nm y, micro poros, con radio inferior a 1 nm.

Los lechos de carbón activo se instalan en columnas de filtrado, con o sin presión, siendo la función desarrollada por éste la de filtrado final, en combinación con filtros de arenas, actuando como adsorbente o, individualmente, actuando como filtro mecánico y adsorbente

La adsorción con carbón activo consiste en retirar del agua las sustancias solubles mediante el filtrado a través de un lecho de este material, consiguiéndose que los oligominerales pasen a través de los microporos, separando y reteniendo en la superficie interna de los gránulos los compuestos más pesados.

Este proceso retiene sustancias no polares como aceite mineral, polihidrocarburos aromáticos, cloro y derivados, sustancias halogenadas como I, Br, Cl, H, F, sustancias generadoras de malos olores y gustos en el agua, levaduras, residuos de la fermentación de materia orgánica, microorganismos, herbicidas, pesticidas, etc., todo ello sin alterar la composición original del agua, respetando los oligominerales y sin generar residuos contaminantes.

Por otro lado, los compuestos residuales derivados de procesos de cloración y ozonización son catalizados y pasan a formas reducidas inofensivas. En este caso, es recomendable emplear carbón de gran dureza, como los procedentes de hueso de aceituna y cáscara de coco, aunque también existen procedentes de hulla, lignito, madera, etc., obtenidos todos ellos a partir del calentamiento a temperaturas extremas en ausencia de oxígeno.

El tipo de filtro de carbón activo depende principalmente de la calidad del agua y del objetivo de depuración planteado. Existen dos tipos básicos: abiertos o cerrados a presión. En ambos casos, para una misma calidad del agua filtrada, la actividad del carbón activo depende de su propia naturaleza y de la temperatura en el interior del filtro.

Su funcionamiento es muy simple, consiste en introducir el agua por la parte superior de una columna que contiene el carbón activo para que, mediante la acción de la gravedad o una presión artificial, circule hacia abajo y se recupere a través de un sistema de drenaje inferior. Durante este filtrado, el lecho va acumulando sustancias que, cada cierto tiempo es preciso retirar.

Se produce un arrastre de partículas y una expansión del lecho de aproximadamente un 20%. Además, según la cantidad y tipo de sustancias retenidas, será preciso, cada cierto tiempo, regenerar el carbón mediante la oxidación de la materia orgánica, etc. En estos procesos se destruye una parte pequeña del carbón activo que deberá ser sustituida.

Esta técnica de filtrado se encuentra cada día más desarrollada y, a pesar de suponer un coste más elevado que otro tipo de sistemas, el abanico de sustancias que puede retener es tan alto en comparación con otros filtrados que, finalmente, resulta rentable

3.1.4.6. Procesos de intercambio iónico

Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante.

La aplicación habitual de estos sistemas, es por ejemplo, la eliminación de sales cuando se encuentran en bajas concentraciones, siendo típica la aplicación para la desmineralización y el ablandamiento de aguas, así como la

retención de ciertos productos químicos y la desmineralización de jarabes de azúcar.

Las propiedades que rigen el proceso de intercambio iónico y que a la vez determinan sus características principales son las siguientes:

- Las resinas actúan selectivamente, de forma que pueden preferir un ión sobre otro con valores relativos de afinidad de 15 o más.
- La reacción de intercambio iónico es reversible, es decir, puede avanzar en los dos sentidos.
- En la reacción se mantiene la electroneutralidad.
- Hay sustancias naturales (zeolitas) que tienen capacidad de intercambio, pero en las industrias se utilizan resinas poliméricas de fabricación sintética con muy claras ventajas de uso.
- Entre las ventajas del proceso iónico en el tratamiento de aguas cabe destacar:
- Son equipos muy versátiles siempre que se trabaje con relativas bajas concentraciones de sales.
- Actualmente las resinas tienen altas capacidades de tratamiento, resultando compactas y económicas.
- Las resinas son muy estables químicamente, de larga duración y fácil regeneración.
- Existe cierta facilidad de automatización y adaptación a situaciones específicas.

3.2.Línea de fangos

En las distintas etapas de un sistema de tratamiento de aguas residuales se obtiene un residuo denominado lodo. Este lodo está formado por materia orgánica e inorgánica en estado sólido suspendida en agua, con una concentración de sólidos mucho mayor a la del agua residual a tratar. El contenido en agua depende del tipo de lodo (primario, secundario o terciario) y del tipo de estabilización (aeróbica o anaeróbica). El lodo crudo tiene un contenido generalmente del 93 al 99% de agua. Tras la deshidratación se obtiene un contenido de materia orgánica del 35% y tras el secado, un contenido de materia orgánica del 85%.

Proceso o evacuación	Operación unitaria, proceso unitario o método de tratamiento
Operaciones preliminares	Bombeo de fangos Trituración de fangos Almacenamiento y homogeneización de fangos Desarenado de fangos
Espesamiento	Espesamiento por gravedad Espesamiento por flotación Centrifugación Espesamiento con filtros de banda Espesamiento con tambor giratorio
Estabilización	Estabilización con cal Tratamiento térmico Digestión anaerobia Digestión aerobia Compostaje
Acondicionamiento	Acondicionamiento químico Acondicionamiento térmico

<i>Desinfección</i>	Pasteurización Almacenamiento durante largos periodos de tiempo
<i>Deshidratación</i>	Filtro de vacío Centrifuga Filtro banda Filtro prensa Eras de secado Lagunaje
<i>Secado térmico</i>	Variantes de hornos de secado Evaporador de efecto múltiple
<i>Reducción térmica</i>	Incinerador de pisos Incinerador de lecho fluidificado Incineración conjunta con residuos sólidos Oxidación por vía húmeda Reactor vertical profundo
<i>Evacuación final</i>	Evacuación al terreno Distribución y comercialización Vertedero controlado Lagunaje Fijación química

Tabla 8: Métodos de tratamiento y evacuación de fangos ^[Met, 1996]

3.2.1. Espesador por gravedad.

Antes de proceder a la eliminación o estabilización de fangos que se han separado del agua residual es conveniente proceder al espesamiento de los fangos purgados de los decantadores. Con ello se consigue

- Reducir el volumen de fangos a tratar, reduciendo el volumen de los digestores
- Mezcla y homogeneización de fangos procedentes de distintos decantadores.

En las estaciones depuradoras que tengan tratamiento secundario con recirculación de fangos, se puede conducir directamente el exceso de fangos sedimentados en la decantación secundaria a los espesadores o bien a los decantadores primarios. En ambos casos se produce la mezcla con los extraídos de la decantación primaria, de forma que el caudal suministrado al digestor es de características homogéneas y tiene suficiente concentración.

Un espesador es medida de separación entre las fases sólida y líquida de un agua que contiene materias en suspensión. Su misión y su modo de funcionamiento es, por tanto similar a la de un decantadores. Las diferencias con este vienen dadas por las concentraciones iniciales en sólidos en suspensión muy superiores a los de los anteriores y pretende llegar a concentraciones muy elevadas de fangos.

El agua penetra por la parte central de aparato a través de una campana deflectora que tiene como misión repartir la corriente de agua de una manera uniforme hacia la periferia del aparato. En este momento y a la altura del nivel del agua del aparato comienza la separación sólido líquido. Las partículas en suspensión decantan individualmente o formando flóculos

El espesador consiste en una cuba cilíndrica, en cuyo interior van colocados dos brazos con rasquetas, movidos por un moto-reductor que acciona el eje central sobre el que se sujetan los brazos. La función de las raquetas es concentrar los sólidos y conducirlos a la parte central del fondo cónico para su evacuación

3.2.1.1. Parámetros de diseño

ESPESAMIENTO DE FANGOS				
Tipo de Fangos	C.Sólidos (kg/m ² /d)	C.Hidráulica m ³ /m ² /h	Tiempo ret. (h)	Conc.Fango (g/l)
Fangos primarios	<130	<1,40	>24	80-100
Fangos activos	<35	<0,45	>24	20-30
Fangos mixtos	<70	<0,90	>24	40-70
Fangos aireación prolongada	<35	<0,45	>24	20-30
Fangos estabilización aerobia	<35	<0,45	>24	25-35
La carga de sólidos por metro lineal de rasqueta deberá ser < 40 kg/m				
El sobrenadante se envía a cabecera de planta				

Tabla 9: Espesamiento de fangos

Relación de volumen de fango:

Volumen del manto de fango mantenido dividido por el volumen de fango extraído diariamente. Oscila entre 0,5 y 20 d (Valores más bajos correspondientes a épocas más calurosas)

Profundidad del manto de fango:

Oscila entre 0,6 y 2,4 m (Valores más bajos corresponden a épocas más calurosas)

Tiempo de retención

A partir de 6 a 8 h comienzan reacciones anaeróbicas

Valor : 24 h. Control de olores

3.2.1.2. Cálculos funcionales y dimensionamiento

1º Cálculo de la superficie del espesador

(Previo establecimiento de una carga hidráulica)

$$\text{Superficie Espesador} = (Q_{\text{fangos a espesador}} / 24) / (C_n / N^\circ)$$

2º Cálculo del volumen del espesador en función del tiempo de retención

$$\text{Volumen Espesador} = (V_{\text{fangos a espesar}} / 24) \times (T_r / N^\circ)$$

3º Determinación de la altura del tanque

Directa conocidos los datos anteriores

Recomendable valores de 2,5 – 3 m

4º Cálculo y comprobación de la carga de sólidos (C_s)

$$C_s = \text{Fangos Totales a Espesar} / (S_{\text{esp}} / N^\circ)$$

3.2.2. Espesadores de flotación

Se pretende con este proceso la separación de las fases sólida y líquida concentrándose en la parte superior los sólidos

La aplicación de sistemas de flotación ha ido dirigida a la separación de materias insolubles menos densas que el agua, materias finas dispersas, materias hidrófobas, materias fibrosas, precipitados de coloidales y fangos secundarios

Comprados con los espesadores por gravedad los fangos ascienden a velocidades superiores a la sedimentación en los de gravedad, el fango ascendente se recogerá en la superficie como fango flotado

Los equipos de flotación son numerosos, se pueden destacar: De fondo poroso e insuflación de aire, de agitación mecánica, de espumado y desespumado, de producción de burbujas por vía química, por producción de burbujas por vía electro química , por aire presurizado.

El sistema por aire presurizado es el más adecuado para el espesado de fangos por flotación. El principio en el que se basa en la disminución artificial de la densidad gracias a la fijación por capilaridad de las burbujas de aire sobre lodos floculados que se pretenden retirar

3.2.2.1. Equipos

Bomba de presurización:

Uniformidad de presión para un rango amplio de caudales

Depósito de presurización:

Mayor contacto posible aire-líquido

Sistema de inyección de aire:

Regulado por presostato

Válvulas reductoras de presión: C

Reacción de micro burbujas. Objetivo:

Presión del líquido presurizado = P_{atm} + Columna de agua entre el punto de inyección y la superficie libre (constante)

Tanque de Flotación:

Rasquetas

Tolva de recogida de fangos en superficie

Alimentación mediante campana de reparto

Rasquetas de fondo: recogida de fangos no flotables y extracción inferior

Extracción del líquido clarificado por rebose en vertedero perimetral.

Recomendable dosificación de polielectrolito: 2 – 5 kg poli/Tn MS (Casos en los que la carga hidráulica supere $25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$)

3.2.2.2. Parámetros de diseño

Carga de sólidos: Gran Importancia. Admiten mayores cargas que los de gravedad (Valor $3 - 4 \text{ Kg} / \text{m}^2.\text{h}$)

Relación Aire/Sólidos en alimentación: (Valor 0,01 0,06 kg aire/kg fango).
Regula:

Rendimiento obtenido

Concentración de sólidos en suspensión en el efluente

Velocidad ascensional de la materia floculante

Carga Hidráulica: ($<50 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ o $<2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$)

Concentración del fango: 3 – 4% .

Recuperación de sólidos (85%) Con uso de poli (95%)

Tiempo de retención: 2 – 6 horas

3.2.3. Digestión aerobia

Los lodos producidos en la depuración de aguas residuales constituyen una concentración de la contaminación de las aguas y, en consecuencia, contienen microorganismos y elementos orgánicos.

Salvo en los procesos de aireación prolongada, los lodos extraídos de los tratamientos previos requieren un tratamiento posterior. Se pretende:

- Disminución de las materias volátiles.
- Mineralización de la materia orgánica.
- Concentración de lodos.

Se denomina digestión aerobia o estabilización de fangos a la eliminación de la parte fermentable de los lodos. Los lodos sometidos a una aireación prolongada, trabajando en la zona denominada de respiración endógena, disminuyen de forma continua por la acción de los microorganismos existentes en el reactor biológico, la vez que se produce una mineralización de la materia orgánica. Los productos finales de este proceso metabólico son anhídrido carbónico, agua y productos solubles inorgánicos.

Los microorganismos que van a actuar en el proceso de estabilización son los mismos que han sido extraídos del proceso de depuración en sus distintas etapas, pero principalmente los extraídos del proceso biológico.

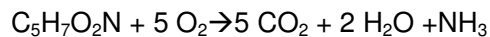
Durante su paso por el sistema de tratamiento de aguas residuales, los microorganismos han retenido y comenzado a transformar la materia orgánica presente en el agua residual.

Los microorganismos se encuentran en el digestor aerobio en condiciones endógenas, cuando prácticamente la totalidad de la materia utilizable como alimento es ya materia celular y los organismos se limitan a alimentarse de

otros organismos o de sus propias reservas mientras esto sea posible. Durante la fase endógena es necesario aportar oxígeno en el tiempo de estancia necesario a la digestión y las características del lodo resultante y sobredrenante son las variables principales del proceso, en el que la temperatura juega un papel importante.

Otra variable que influye en este proceso es la concentración de fangos existentes en el reactor. Para poder influir sobre esta concentración es necesario recircular el fango tras una separación del sobredrenante. No es normal que esto se aplique en una digestión aerobia, por lo general el fango fresco se introduce intermitentemente proporcionando previamente un tiempo de estabilización de forma que se extraiga del tanque el fango digerido y de la superficie algo de sobredrenante, que se devuelve al sistema de tratamiento residual. La suma de los volúmenes de fango digerido y sobredrenante es el fango fresco que puede introducirse en el reactor. No obstante debe tenerse en cuenta que en ocasiones es rentable utilizar un sistema de espesamiento de fangos antes de la entrada al digestor.

El mecanismo de respiración endógena, en el que los microorganismos llegan a su propia auto-oxidación, se resume en la siguiente reacción.



Oxidándose posteriormente NH_3 a NO_3^-

Etapa de partida	Etapa intermedia	Etapa final
Materia orgánica Materia mineral	CO ₂ , H ₂ O	CO ₂ , H ₂ O
	Materia orgánica	Células residuales
	Materia viva	Materia orgánica no
	Células	degradable
	Fangos estabilizados	

	Fangos activos	Materia mineral
	Materia mineral	

Tabla 10: Etapas digestión

Los fangos así estabilizados pueden contener una cantidad importante de elementos volátiles, como celulosa, carbonatos... ya que realmente son bastante estables y su tiempo de fermentación es muy superior al de estancia en el reactor biológico, según este proceso. Estas materias pueden salir del proceso con las mismas características de estabilidad, pero existen productos bastante estables antes de la digestión que al salir son totalmente inestables

Se hace necesario definir la estabilidad de los lodos en función de algún otro parámetro. KEHR define el grado de estabilización por un límite máximo del valor de la respiración del fango, establecido en 0.10-1.015 Kg O₂/Kg MO/día.

3.2.4. Digestión anaerobia

La digestión anaerobia de fangos esta aceptada como el método más adecuado para obtener un producto final aséptico. La descomposición de materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire. El oxígeno necesario para su desarrollo lo obtienen de su propio alimento.

La digestión es un proceso anaerobio en el que los materiales de descomposición pasan por varios procesos: Licuefacción, gasificación y mineralización obteniéndose como producto final un producto inerte con liberalización de gases.

La licuefacción se produce por enzimas extracelulares que hidrolizan los carbohidratos complejos a azúcares simple, las proteínas a péptidos y los aminoácidos y grasas a glicerol y ácidos, siendo el producto final de la licuefacción ácidos orgánicos volátiles.

Durante la gasificación estos productos se convierten gases cuyos principales componentes son el metano y el dióxido de carbono. Finalmente la materia orgánica soluble es también descompuesta

La digestión pasa por distintas fases siendo las principales la fermentación acid y la fermentación alcalina, el control del pH en de estas fases resulta la importancia.

Fermentación acida						
Fangos frescos	+	Microorganismos "A"	→	CO ₂ ,H ₂ O	+	Ácidos orgánicos
Substrato complejo carbohidratos grasas proteínas		Principalmente formadores de ácidos (saprofíticos facultativos)		Productos de degradación intermedia		Productos celulares y otros de degradación intermedia

Tabla 11: Fermentación acida

Fermentación alcalina						
Ácidos orgánicos	+	Microorganismos "B"	→	CO ₂ +CH ₄	+	Otros
Productos celulares y otros de degradación intermedia		Principalmente formadores de metano		Metano anhídrido carbónico		H ₂ O,SH ₄ y productos de degradación

Tabla 12: Fermentación alcalina

3.2.4.1. Dotación / Equipos

- Digestores
- Sistemas de agitación
- Sistemas de calefacción
- Línea de gas

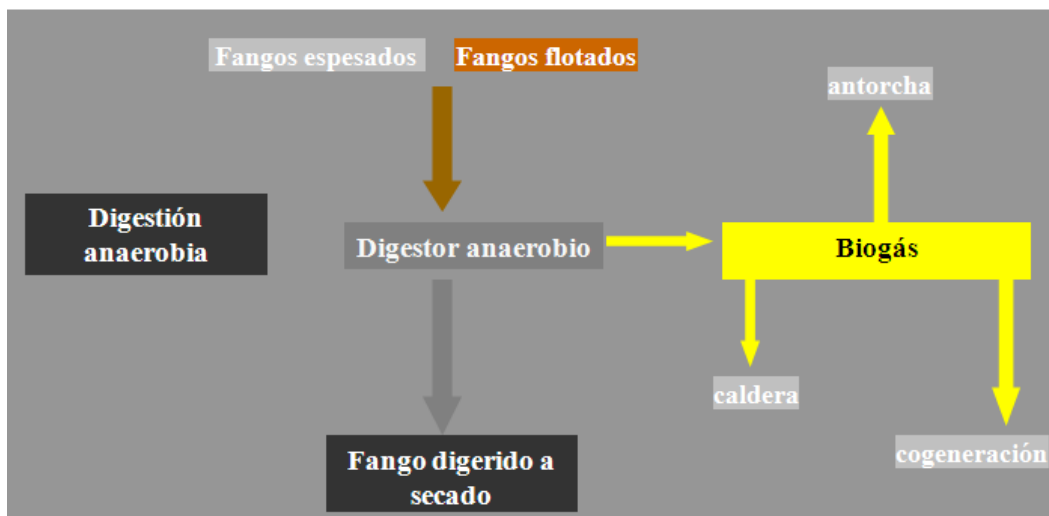


Ilustración 23: Esquema

3.2.4.2. Parámetros de diseño

Tiempo medio de retención celular:

Factor crítico (Necesario para reproducción de las bacterias y adaptar población a la cantidad de M.O. que entra en digestor)

Tiempo que la masa de microorganismos permanece en el sistema

$$T_r = V_d / Q_{fs}$$

Valor para digestión convencional en régimen mesofílico 30-60 d

Factores de carga Volumétricos:

- Kg Sólidos volátiles añadidos por día y m^3 de digestor
- Kg Sólidos volátiles añadidos por Kg Sólidos volátiles en digestor

En la aplicación de ambos factores hay que tener en cuenta el T_r

3.2.5. Funcionamiento de la digestión convencional

En fase única está estratificado en tres etapas:

- Sobrenadantes en la parte superior
- Zona activa de digestión en parte central
- Fango espesado en el fondo

Volumen necesario para:

- Almacenamiento del fango digerido
- Sobrenadante
- Capacidad en exceso prevista para fluctuaciones diarias de cara mejorar la concentración se mantiene un manto de fangos en la parte inferior del tanque

Tiempos de detención basados en m^3 de fango bombeado (60 a 90 d)

Digestores convencionales: Cargas de sólidos 0,5 y 1,6 kg/m^3 d de SSV

Digestores de alta carga:

Cargas de sólidos 1,6 y 4,8 kg/m^3 d de SSV (Para cargas $> 4,8 \text{ kg}/\text{m}^3$ d de SSV el mezclado suele constituir un problema)

$$T_r = 10 - 20 \text{ d}$$

Concentración de fangos %	Carga de sólidos volátiles, kg/m ² .d			
	10 d	12 d	15 d	20 d
4	3,04	2,56	2,08	1,60
5	3,84	3,20	2,56	1,92
6	4,48	3,84	3,04	2,24
7	5,28	4,48	3,52	2,72
8	6,08	5,12	4,00	3,04
9	6,89	5,76	4,64	3,36
10	7,69	6,40	5,12	3,84

Tabla 13: Efecto de la concentración del fango y el Tr sobre el factor Carga de Sólidos volátiles

Reducción de volumen

Conforme se lleva a cabo la digestión, la extracción de sobrenadante y su retorno a cabecera permiten reducir el volumen de fango

$$V_{\text{digestor}} = (V_f - 2/3 \times (V_f - V_d)) \times t$$

Siendo:

V_f = Volumen de fango crudo añadido al día

V_d = Volumen de fango digerido extraído diariamente

T = Tiempo de digestión

Cálculo basado en la población

El diseño del volumen de los tanques también puede realizarse per cápita:

Digestión convencional: Fango primario + fango crudo 0,113 – 0,170 m³/hab

$T_{\text{retención}}$ de sólidos = 30-60 días

Digestión de alta carga: Fango primario + fango crudo 0,074 – 0,113 m³/hab

$T_{\text{retención}}$ de sólidos = 15-20 días

3.2.5.1. Factores que determinan la eficacia de la digestión

Temperatura

Digestión termofílica: 38° - 65°

Ventajas: Menor volumen necesario

Mejor características deshidratación del fango

Aumento en la destrucción de bacterias

Inconvenientes: Mayores necesidades energéticas

Peor calidad del sobrenadante

Menor estabilidad del proceso

pH

El pH depende de las reacciones ácido-base. Dentro del proceso de digestión ocurren multitud de estas reacciones. Por tanto el pH es un índice global de lo que ocurre en el digestor a dicho nivel.

No debe olvidarse que las bacterias actuando en el proceso pueden ser inhibidas por ciertos valores del pH, así podemos decir que el nivel óptimo es:

Bacterias formadoras de metano: pH óptimo 6,8 – 7,4

Bacterias formadoras de ácido: rango más amplio. Su actividad produce un descenso del pH al producir ácidos.

En consecuencia para que se desarrolle el proceso de digestión es necesario mantener el equilibrio entre las actividades de las dos poblaciones bacterianas. Esto viene ayudado por la capacidad tampón del fango de digestión

Ácidos volátiles/Alcalinidad

La concentración de ácidos volátiles, producto de la fermentación, tiene una gran importancia en el proceso de digestión, ya que puede llegar a acidificar el fango provocando un fallo en el proceso. Los valores óptimos están comprendidos entre 50 y 500 mg/l siendo un valor extremo 2000mg/l.

El aumento de la concentración de los ácidos volátiles puede venir producido por una sobrecarga de alimentación o por una inhibición de las metanobacterias. A su vez una gran concentración puede provocar una rotura de la capacidad tampón del fango, disminución del pH y en consecuencia una inhibición de las bacterias productoras de metano

Según EVANS, la mayor parte de la alcalinidad del fango de digestión está formada por bicarbonato amónico, por ello el verdadero parámetro del control del proceso, que engloba los parámetros anteriores, es la llamada relación ácidos volátiles/alcalinidad. Es deseable que la capacidad tampón del sistema sea alta, lo cual se traduce en que la relación de la que estamos hablando sea baja (0-0.1). Al alcanzar valores de 0.5 debidos a un fuerte descenso de la alcalinidad el pH del contenido el digestor cominza a descender, por lo que este parámetro es un indicarodr mas rápido del funcionamiento del sistema

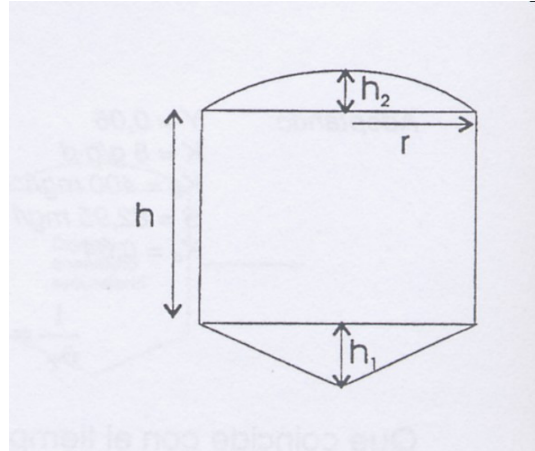
3.2.5.2. Dimensionamiento de los tanques

Tipología más común: Cilindro Vertical

Diámetro: $6 \text{ m} < D < 38 \text{ m}$

Profundidad: $7,5 < h \leq 14 \text{ m}$

Pendiente: 1H:4V



24: Parametros de tanques

3.2.6. Producción de Gas

Composición Volumétrica del Biogas

65 – 70 % CH_4

25 – 30 % CO_2

N_2 , H_2 , H_2S , Vapor de Agua, Otros gases

Peso específico: 0,86 respecto del aire

Poder calorífico: 22.400 kJ/m³ de gas

La producción de gas se estima a partir de la reducción del % de sólidos volátiles (Valor 0,75 a 1,12 m³/kg SSV destruidos)

También puede estimarse en base a la aportación por habitante (28 m³/1.000 hab.d)

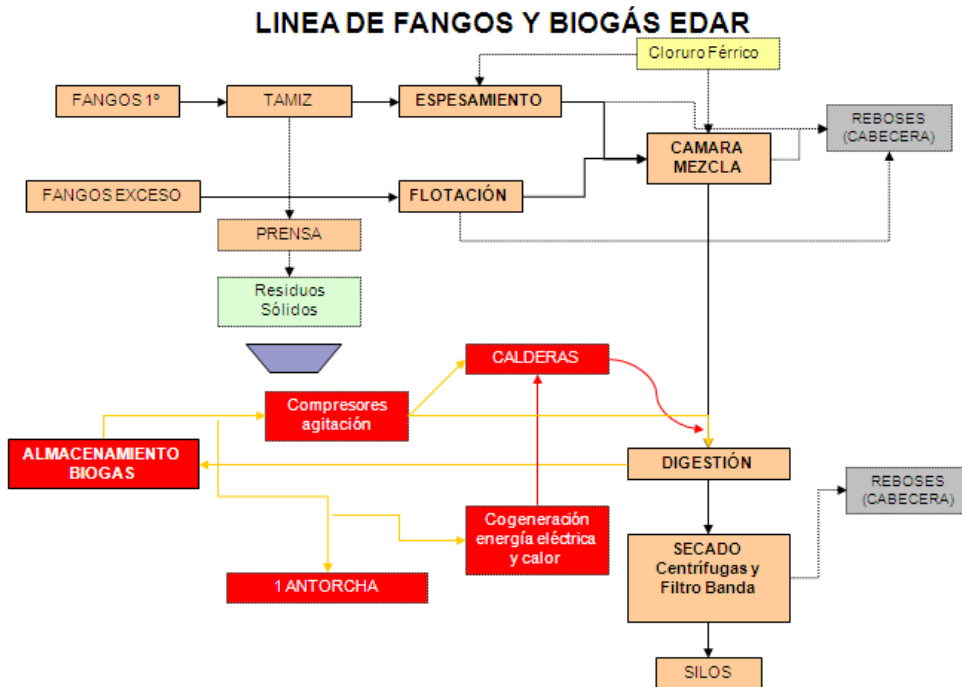


Ilustración 25: Esquema línea de fangos y biogás

Recogida de gas:

Bajo la cubierta. No se puede permitir la mezcla gas – aire (Riesgo de explosión)

Tuberías y válvulas de seguridad provistas con elementos de protección

Cubiertas: Fijas / Flotantes

Almacenamiento de gas a baja presión en gasómetros externos dotados de cubiertas flotantes o en tanques a presión si se utilizan compresores de gas a alta presión

El gas no consumido se debe quemar en una antorcha

Se deben instalar medidores de caudal de gas

Utilización de gas

1 m³ de metano: Poder calorífico neto de 38.000 kJ

(Contenido en metano del 65% en biogas, 22.400 kJ/m³)

Posibilidad de utilizarlo como combustible para calderas o en cogeneración
(motores de combustión interna)

Mezclado del digestor

Inyección de gas:

No confinado: Lanzas ancladas en cubierta

Difusores montados en solera

Confinado: Elevadores de gas

Embolos de gas

Agitación mecánica:

Turbinas de baja velocidad

Mezcladores de baja velocidad

Bombeo mecánico:

Conductos de circulación interiores/exteriores

Bombas

Parámetros de diseño de la agitación

Potencia específica: 0,030475 – 0,00788 kW/m³

Caudal unitario gas:

- Sistemas confinados 0,005 – 0,007 m³/m³.min
- Sistemas no confinado: 0,045 – 0,0050 m³/m³.min

Tiempo de renovación: 20-30 min

Calefacción del digestor

Necesidades de calefacción:

1º Calentamiento de fango

- Supuesto: Calor específico de los fangos = Agua

$$Q = \text{Peso diario de fango a digestión (kg/d)} \times (T_2 - T_1) \times C_e$$

Q = Cantidad de calor necesaria (J/d)

C_e = Calor específico del fango (J/kg°C)

2º Pérdidas a través de paredes, fondo y cubierta

$$q = U \times A \times \Delta T$$

U = Coeficiente global de transmisión de calor $W/m^2 \cdot ^\circ C$

ΔT = Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior ($^\circ C$)

Las paredes del digestor pueden estar rodeadas de un terraplén de tierras que sirve de aislamiento o muro de espesor de 30 cm con aislamiento

Transmisión de calor a través de las paredes de hormigón sin revestimiento aislante situadas bajo el nivel del suelo y las soleras depende de su situación por encima o debajo del nivel freático.

Si la situación del freático es desconocida: Supuesto

Paredes laterales del tanque rodeadas de suelo seco

Solera: Suelo saturado

Las pérdidas de calor del tanque de digestión calientan el suelo adyacente formando éste una capa aislante de 1,5 a 3 m antes de que se alcancen temperaturas ambientales estables

Las heladas pueden penetrar hasta una profundidad de 1,2 m

Se supone que a esta profundidad la temperatura del terreno es de $0^\circ C$ y que varía uniformemente por encima de ella hasta alcanzar la temperatura de aire previsto

Por debajo de esta profundidad se supone que las temperaturas son las normales y que son de 5 a $10^\circ C$ más altas en las cimentaciones de muros

Transmisión de calor a través de cubiertas y paredes de hormigón situadas por encima del terreno: Efecto incluido en los valores de los coeficientes

Cálculo de la superficie necesaria por intercambiador

La superficie teórica de intercambiador necesaria será

$S_{int} = \text{Calor Necesario a aportar} / (0,9 \times IL \times CT)$

Siendo:

$CT = \text{Coeficiente de transmisión de calor del acero} = 460 \text{ kcal/h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$IL = \text{Incremento logarítmico de temperatura}$

$IL = \{ (TEA - TFS) - (TSA - TEF) \} / \ln \{ (TEA - TFS) / (TSA - TEF) \}$

Siendo:

$TEA = \text{Temperatura de entrada del agua}$

$TSA = \text{Temperatura de salida del agua}$

$TEF = \text{Temperatura de entrada del fango}$

$TFS = \text{Temperatura de salida del fango}$

Deshidratación

Objetivo

Eliminación del agua de los fangos

Dotación / Equipos

- Procedimientos estáticos y de presión: Filtros Banda
- Generación de sobrepresión o depresión: Filtros prensa / Filtros de vacío
- Procedimientos dinámicos: Centrífugas

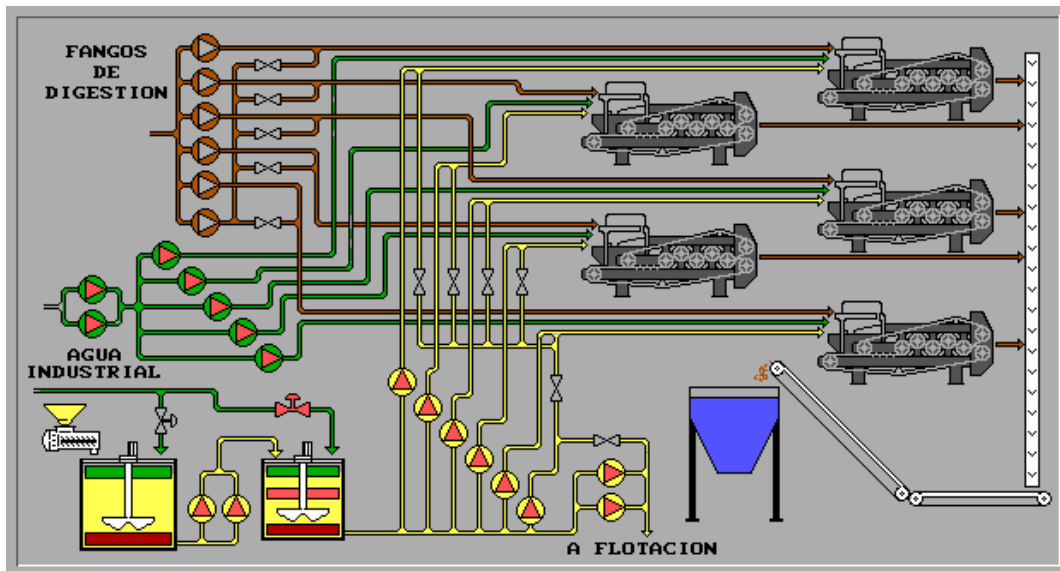


Ilustración 26: Esquema digestión de fangos

3.2.7. Filtros Banda

Dispositivos de alimentación continua

Incluyen: Acondicionamiento Químico, Drenaje por gravedad y Aplicación mecánica de Presión

* 1º Espesado: Fango acondicionado drena por gravedad

* 2º Zona de aplicación de presión

Separación de la torta de fango deshidratado mediante rascadores

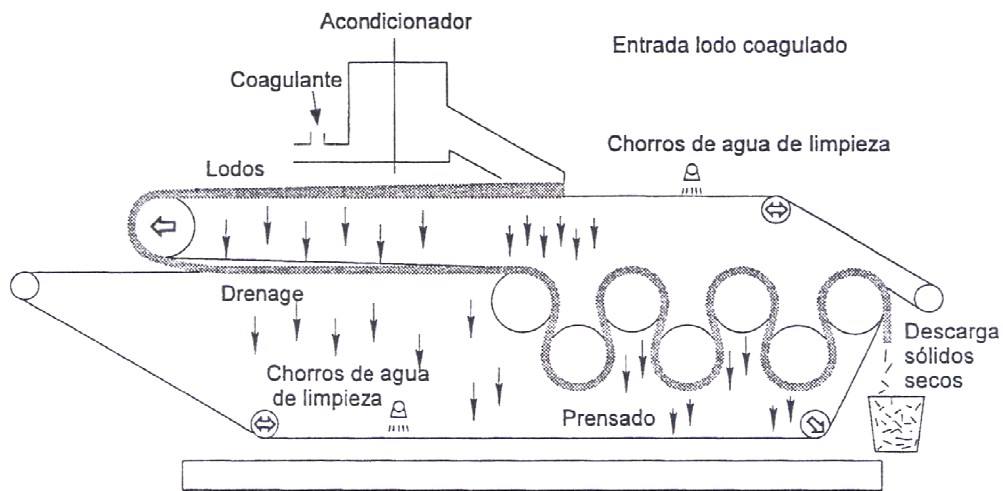


Ilustración 27: Filtro banda

Componentes

- Bombas de alimentación de fango al filtro
- Equipos de dosificación de polielectrolito
- Bombas de lavado de telas con grupo de presión
- Floculador
- Filtro Banda
- Cinta o tornillo para evacuar fango seco

Principales características que influyen en el rendimiento

- Características del fango
- Método y tipo de acondicionamiento del fango
- Presión aplicada a las bandas
- Porosidad y ancho de las bandas
- Velocidad de giro de las bandas

Centrifugación

Acción centrípeta de separación sólido líquido por diferencia de densidades

Tipos de centrífuga

- Cónica
- Cilíndrica
- Cilíndrico-Cónica

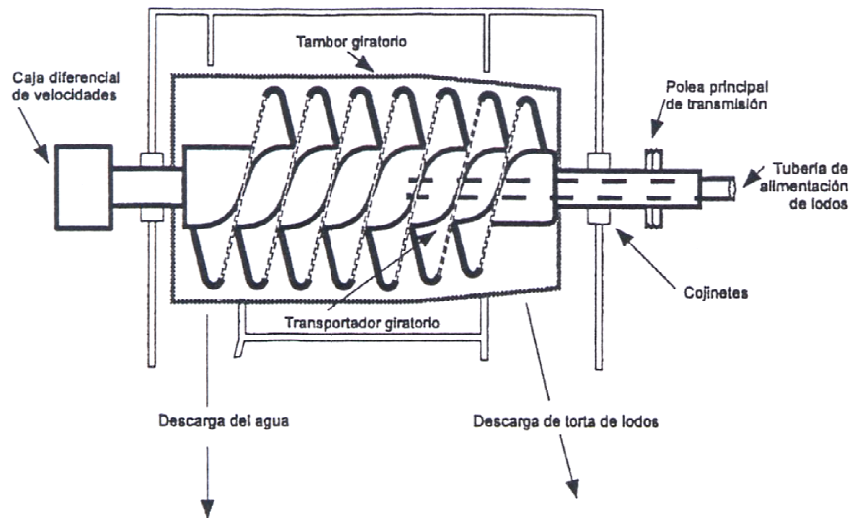


Ilustración 28: Centrifuga

El fango se introduce a caudal constante en la cuba giratoria:

Separación en:

- Torta densa que contiene los sólidos
- Corriente diluida que contiene sólidos finos de poca densidad (se retorna al clarificador primario, o al espesador)

Contenido en humedad de la torta de fango: 80 % - 70 %

Principales características que influyen en el rendimiento

- Características del fango
- Método y tipo de acondicionamiento del fango
- Longitud del cilindro
- Velocidad diferencial

Valores de rendimientos, concentración del escurrido y consumo de poli similar a los de los filtros banda.

4. Estudio de la situación actual

4.1.Descripción de las instalaciones

OBRA DE ENTRADA

El agua residual llega a la planta mediante el colector de DN-1000mm.

En el último pozo de registro antes de la llegada a la planta existía antes de las obras de mejora realizadas en 2007 un aliviadero a una cota tal que permita conectar con el colector emisario de salida de planta que evacúe, en caso de necesidad, las aguas residuales que lleguen a la planta. El exceso de aguas residuales (diluidas) evacúa por el aliviadero instalado en la obra de llegada de la planta, unos 0.25 m por encima del aliviadero del pozo de registro, a la cota necesaria para evitar que el río llegue a la planta.

En la actualidad esta obra de llegada se ha reconvertido en pozo de gruesos, con pórtico-grúa y cuchara bivalva para la extracción de los gruesos depositados.

Por medio de las compuertas de cierre a cuatro aristas instaladas en el canal de desbaste se puede aislar la planta, aliviándose el agua bruta a través de los aliviaderos, convirtiéndose en el by-pass general de la EDAR.

Características del sistema:

<u>Aliviadero Pozo Registro</u>	
Longitud	0.6 m
Diámetro tubería by-pass	600 mm
Protección del agua aliviada	Reja de gruesos (50 mm)
Cota vertedero	94,02 m
Conexión	A colector -emisario

Tabla 14: Características aliviadero pozo de registro en la EDAR de Verín

<u>Aliviadero Obra de Llegada</u>	
Longitud	0.6 m
Diámetro tubería by-pass	1000 mm
Cota vertedero	94,31 m
Conexión	Río Támega

Tabla 15: Características Aliviadero obra de llegada de la EDAR de Verín

<u>Pozo de gruesos</u>	
Superficie	0.6 m
Profundidad de agua	1.00 mm
Volumen útil.	.12.09 m3
Tiempo de retención Qmedio.	2.2 min
Tiempo de retención Qpunta	1.19 m
Cuchara bivalva	100 l

Tabla 16: Características Pozo de Gruesos EDAR Verín

DESBASTE GRUESO

El ancho del canal existente es de 0.8 m provisto de una reja recta autolimpiante que descarga sobre un cesto contenedor.

Las aguas pasan a través de una compuerta de cierre a aristas tajadera con volante y husillo de accionamiento manual y a través de una reja de gruesos con una luz entre barrotes de 50 mm al desarenador-desnatador.

Existe un canal de by-pass de 0,8 m de ancho. En este canal se instala una reja recta longitudinal manual con 50 mm de luz entre barrotes. Los residuos se descargan directamente a un contenedor de 1100l.

La entrada al canal by-pass se aísla con una compuerta de características similares a la situada a la entrada al canal de desbaste automático.

Como acceso de desbaste grueso para hacer inspecciones y limpieza en la zona inferior de la reja se ha previsto en cada canal una plataforma de trames.

A la salida de los canales de desbaste el agua pasa por gravedad al desarenador/desnatador.

Características principales:

<u>Reja de gruesos</u>	
Luz entre barrotes	50 mm
Ancho reja	0.8 m
Altura canal	4.2 m
Altura descarga reja	5.2 m
Sistema de recogida de residuos	Automático
Potencia unitaria	1CV

Tabla 17: Características desbaste grueso EDAR Verín

<u>Reja auxiliar</u>	
Luz entre barrotes	50 mm
Ancho reja	0.8 m
Sistema de recogida de residuos.	Manual

Tabla 18: Características reja auxiliar en desbaste grueso EDAR Verín

DESARENADO/DESENGRASADO

Después de pasar por el pozo de gruesos y el desbaste grueso, las aguas pasan por gravedad al desarenado/desengrasado, donde se separan las arenas y otros sólidos de densidad equivalente para evitar problemas de abrasión en los equipos de las etapas posteriores. En consecuencia la misión fundamental de esta etapa es separar las arenas así como sólidos finos flotantes.

El desarenador existente es circular y está calculado para que la velocidad de flujo circular a caudal máximo permita la sedimentación de las partículas de tamaño igual o superior a 0,2 mm pero no menores.

Para evitar que caudales menores puedan sedimentar también estas partículas no deseadas, cuyo mayor porcentaje está compuesto por materia orgánica, o para evitar un cúmulo excesivo de residuos en el fondo de la unidad que provoquen el atascamiento de la bomba centrífuga sumergible de extracción de arenas, está prevista la aireación del canal. Esta aireación produce en el agua una agitación suficiente para que no se produzca esta sedimentación de partículas menores, pero sí las de tamaño superior cuya caída no se ve impedida.

El aire es introducido por dos colectores circulares con producción de burbuja gruesa, dispuesto en forma de anillo para la producción de flujo helicoidal adecuado a este tipo de sistema. La aireación se realizara mediante una derivación del aire del proceso.

Las partículas sedimentables son concentradas a lo largo del fondo del desarenador, el cual tiene una doble inclinación hacia la poceta donde se recogen los residuos. La extracción de estos sólidos se realiza mediante una bomba centrífuga sumergible que lo eleva a un separador de arenas. Las aguas sobredrenantes se llevan por gravedad a la cabecera de la planta.

Esta unidad además cumple la función de desnatador.

La extracción de estos residuos se realiza por medio de una bomba centrífuga sumergible invertida.

El funcionamiento de las bombas se temporiza.

La mezcla de aguas y fangos es impulsada a un concentrador separador de grasas con rascador superficial aproximado de 3000 l, las aguas y grasas bombeadas entran en el concentrador para su posterior envío al vertedero.

Las características más importantes de estos procesos son las siguientes.

Desarenador	
Tipo	Circular
Nº unidades	1 Ud.
Diámetro	5.7 m
Altura en el centro	1.5 m
Diámetro poceta central	.0.5 m
Sistema de extracción de aguas	
Tipo	Bomba sumergible
Caudal unitario	6 m ³ /h

Altura manométrica	7 m.c.a
Potencia	2.5 CV
Sistema de aireación	
Tipo de difusores	Burbuja gruesa
Sistema separador de arenas	
Arrastre de residuos	Tornillo de Arquímedes
Caudal unitario	0/15 m ³ /h
Longitud	3.3 m
Diámetro	150 mm
Potencia	0.75 CV
Destino de las arenas	Contenedor
Volumen de contenedor	1100 l

Tabla 19: Características desarenador EDAR Verín

<u>Desengrasador</u>	
Sistema de extracción de grasas	
Nº unidades	1 Ud.
Tipo	Bomba sumergible invertida
Caudal unitario	6 m ³ /h m
Altura manométrica	7 m.c.a
Potencia	2.5 CV

Sistema de separación de grasas	
Extracción del concentrador de grasas	Por rasquetas
Tipo	Separador con cadena
Ancho	0.6 m
Longitud	3.1 m
Funcionamiento	Temporizado
Potencia	0.25 CV m
Destino de las grasas	.Contenedor
Volumen de contenedor	1100 l

Tabla 20: Características desengrasador EDAR Verín

BOMBEO DE AGUA BRUTA

El agua residual después de pasar por el desarenado desengrasado, debe ser impulsada para que pueda discurrir por gravedad en las etapas siguientes.

El procedimiento de impulsar el agua bruta pre desbaste, permite poder instalar sistemas compactos de alta eficacia como es el micro tamiz rotativo después del bombeo.

Se ha adoptado un caudal unitario de bombeo de 200 m³/h. De esta manera con 3 bombas se tiene capacidad para las previsiones realizadas.

Las bombas son de tipo centrífugo sumergibles. El funcionamiento de las bombas está totalmente automatizado, el control de arranques y paradas en cascada de las bombas se realiza con detectores de nivel montados en el pozo.

Características:

N de bombas	3 Ud
Tipo	Centrífuga sumergible
Caudal	.200 m ³ /h
Presión de trabajo.	11 mca
Potencia unitaria.	17CV
Control	Automático por peras

Tabla 21: Características bombeo de agua bruta EDAR Verín

La línea común de impulsión de las bombas de 350 mm de diámetro conduce a los vertidos de desbaste fino.

DESBASTE FINO (TAMIZADO)

El agua bruta predesbastada llega a dos micro tamices rotativos para el desbaste fino de 0,5 mm de luz de malla. Están ubicados entre los edificios de bombeo de agua bruta y tratamiento de fangos. La altitud de la plataforma es aproximadamente la altura de la coronación de las balsas biológicas.

El micro tamiz rotativo está indicado para un desbaste muy fino. Dicho elemento es, por su funcionamiento, auto limpiante y elimina todos los sólidos suspendidos de un tamaño igual o mayor de 0,5 mm.

Como ya se mencionó anteriormente, la separación efectiva de sólidos, supone eliminar elementos de menor diámetro o aglutinados de muy finos. Dependiendo de la naturaleza de la carga contaminante de las aguas, estos residuos retenidos tienen un importante origen orgánico, reduciéndose por tanta la DBO₅ de los vertidos, pudiéndose considerar un 10) como media de partida. Los sólidos eliminados se vierten en una cinta transportadora y de esta a un contenedor de residuos donde se almacenan para su posterior disposición en un vertedero. El efluente del micro tamiz se conduce por tuberías de 450 mm de diámetro directamente al canal de reparto de las balsas biológicas.

En caso de necesidad de bypass en los tamices se impulsan las aguas a la arqueta de reparto de las balsas biológicas.

Dicha arqueta está provista de una reja de finos con luz de paso 12/18 mm para mantener un desbaste fino.

Características técnicas principales del sistema:

Tipo	Rotativo
Nº unidades	2 Ud.
Diámetro tambor.	632 mm
Longitud del tambor	1800 mm
Luz de malla	0.5 mm
Caudal máximo unitario	300 m ³ /h
Caudal máximo de diseño	295 m ³ /h
Potencia	1.5 CV
Sistema de recogida de residuos	Por cinta transportadora
Nº de cintas	1 Ud
Potencia	1.5 CV
Longitud	8 m
Nº de contenedores	1 Ud
Volumen unitario	1.1 m ³

Tabla 22: Características Tamizado EDAR Verín

TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El tratamiento biológico está considerado con el concepto de fangos activados de baja carga, con nitrificación, desnitrificación y desfosfatación química. El proceso en sí, está integrado por cuatro tanques de aireación donde actúan los fangos activados y una decantación secundaria donde a:

Desfosfatación

Para la desfosfatación se considera como coagulante el cloruro férrico, por su eficiencia como sal trivalente en la precipitación de fosfatos. La capacidad de dosificación del reactivo está prevista para la reducción del contenido de fósforo disuelto dentro de los márgenes máximos previsibles para vertidos de las características de las aguas a tratar y siendo además el excedente al consumido dentro de los procesos biológicos.

Se ubicará el depósito de cloruro férrico en una sala del edificio de bombeo de fangos.

Esta dosificación de coagulante permite además el efecto de tratamiento fisicoquímico de las aguas, dando flexibilidad a los procesos durante los momentos en los que sea necesario poner fuera de servicio una línea de tratamiento biológico.

Consideramos una carga específica para el cálculo de la desfosfatación de 2.5 gr/habitante/día.

Como se ha dicho últimamente se considera el cloruro férrico como reactivo por su eficacia en la eliminación de fosfatos. También hay que tener en cuenta que los procesos biológicos necesitan fósforo y por tanto parte de él será eliminada biológicamente. Se considera una carga equivalente al 1% en DBO5 en los fangos biológicos

$$0.01 \cdot 1077.3 = 10.77 \text{ Kg/día}$$

Se considera una concentración media de partida en fósforo de 9.259 mg/l y una concentración de 1.0 mg/l en el efluente.

No se resta la cantidad de fósforo incorporada en los fangos biológicos de 2.69 ppm

$$4.05 \text{ m}^3/\text{día} \cdot (9.259 - 1 \text{ gr/m}^3) \cdot 1/1000 \text{ Kg/gr} = 33.45 \text{ Kg/día de fosfatos}$$

Para eliminar el 90% del fósforo la solución considerada de hierro en la forma FeCl_3 respecto al ion fosfato es de 5.5:1

Por tanto la cantidad de sal a dosificar:

$$33.45 \cdot 5.5 = 183.94 \text{ Kg/día de cloruro férrico.}$$

Dado que la forma comercial es de una concentración del 40% con una densidad de 1.4 gr/l necesitaríamos un volumen diario de 0.328 m³/día. Las necesidades de almacenamiento para 15 días serán de 4.95 m³ se consideró un volumen útil de depósito de 5 m³.

Para el dimensionamiento de las bombas dosificadoras se consideró un caudal medio de dosificación tal que:

$$0.33 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 1000 \text{ l/m}^3 / 24 \text{ h} = 13.75$$

Nº depositos almacenamiento	1 Ud
Capacidad	5000 l
Nº bombas dosificadoras	1 Ud
Tipo	Membrana
Rango de caudales	0 – 44 l/h
Potencia	0.12 CV

Tabla 23: Características dosificación cloruro férrico EDAR Verín

Activación, Nitrificación y Desnitrificación

El agua residual, previamente pretratada entra directamente en un depósito rectangular cuyas dimensiones han sido calculadas en base de un tiempo de retención hidráulico superior a las 11.95 h, una edad del fango superior a los 9 días y una carga másica de 0.134 Kg DBO/Kg MLSS.día con lo que se consiguen altos rendimientos en la degradación de la materia orgánica (superior al 95%. Con esta baja relación entre la contaminación orgánica a degradar y la cantidad de microorganismos activos contenidos en el sistema, no solo se consigue un alto rendimiento de degradación de las sustancias orgánicas contenidas en el agua residual, si no también nitrificación del nitrógeno amoniacal, además de rendir unos fangos relativamente estables.

En operación normal la concentración de fangos activados en el reactor (MLSS) se mantiene alrededor de 4000 mg/l, siendo importante la recirculación de lodos a partir de la decantación, alrededor del 75-150% del caudal medio de tratamiento.

Estos fangos activos recirculados entran en las proximidades de la entrada del agua bruta, en una nueva primera separación del depósito, denominada zona anóxica y donde se produce la desnitrificación. Esta cámara que tiene un

volumen de un 22.08% del total del tanque, es agitado para mantener la mezcla en suspensión, pero que no recibe aireación. Las condiciones deficitarias en oxígeno provocan que determinados microorganismos del sistema comiencen la degradación y asimilación de materia orgánica utilizando oxígeno contenido en nitratos y nitritos formados en la etapa siguiente y recirculados junto con los lodos. De esta forma se elimina gran parte de los nitratos recirculados que pasan a la atmosfera en forma de nitrógeno molecular.

El sistema de aireación está provisto de difusores de membrana de burbuja fina que suplen perfectamente las necesidades de oxígeno y mezcla previstas y que permiten un servicio intermitente de aireación si así fuera recomendable. De todas formas, estos difusores son inatascables y tienen un alto rendimiento en una amplia gama de caudales. De esta forma se permite regular el caudal de las soplantes en función de la concentración de oxígeno disuelto en las balsas biológicas, suministrando el caudal de aire estrictamente necesario.

Características del sistema.

Zona Oxica		
Nº de unidades	4	Ud
Volumen útil total	3.125,2	m ²

Tabla 24: Características zona óxica tratamiento biológico EDAR Verín

Zona Anóxica		
Nº de unidades	4	Ud
Volumen útil total	3.125,2	m ²
Ancho útil unitario	6,0	m
Altura útil	4,1	m
Volumen útil total	885,6	m ³

Nº agitadores zona anóxica	4	Ud
Tipo	Flujo axial de 3 palas	hélice
Potencia unitaria	2	CV

Tabla 25: Características zona anóxica EDAR Verín

Características generales del proceso		
Concentración de fangos activados	4000	m g/l
Carga másica (Kg DBO/Kg MLSS.d)	0,134	
Carga volumétrica (Kg DBO/m ³ .d)	0,54	
Tiempo de retención total Q medio	11,95	h
Edad del fango	9,22	días
Sistema de aportación de O ₂	Aire insuflado	
Tipo	Membrana de burbuja fina	
Nº de difusores totales	1000	Ud
Nº de parrillas por balsa	2	Ud
Calado máximo del difusor	3,60	m
Aportación específica del difusor	2,5	m ³ /h
Caudal necesario aire (medio/punta)	2.665/4.163	m ³ /h
Caudal disponible unitario	2100	m ³ /h

Características generales del proceso		
Nº soplantes	3+1	Ud
Potencia unitaria instalada	60	CV
Altura manométrica	5	mca
Perdida de carga en difusores	0,32	mca
Perdida de carga en conducciones	0,15	mca
Regulación	Automática en función del oxígeno disuelto	

Tabla 26: Características generales del proceso de fangos activados

Las soplantes están situadas en el edificio de transformación, soplantes y deshidratación, en una sala separada, estando este edificio convenientemente protegido ante el escape de ruido por puertas acústicas, silenciadores acústicos.

Decantación secundaria

La clarificación final del efluente se realiza en un tanque de sedimentación secundaria existente antes de la última ampliación. Este decantador es de flujo radial con un diámetro de 22.5 m.

Las aguas a tratar entran en el decantador por la parte superior del centro del tanque por una tubería DN-350 donde se distribuyen a través de una campana circular. Los sólidos se sedimentan y acumulan como fangos en el fondo del tanque; un barredor de fondo, conducido por un puente giratorio, arrastra el fango a una poceta central, donde se elimina por presión hidrostática a una arqueta para su extracción posterior. El efluente clarificado se recoge en la parte superior del tanque para que rebose a un canal perimetral; el vertedero es dentado del tipo Thompson, colocado tras la chapa deflectora.

El sistema está dotado también de rasqueta superficial para la recogida de flotantes. Estos son vertidos en una tolva y conducidos a un nuevo pozo de bombeo.

Los sobredrenantes del decantador se extraen por gravedad de forma automática mediante válvula de manguito a cabecera de planta de la EDAR, para evitar la proliferación de bacterias filamentosas que podrían causar problemas en la explotación de la EDAR.

El vaciado del decantador se efectuará mediante el bombeo de fangos a recircular al espesador y/o mediante juego de válvulas a la aspiración de la bomba centrífuga para la deshidratación del licor mezcla en su caso.

Las características principales del sistema son las siguientes:

Decantador		
Nº de unidades	1	Ud
Diámetro interior	22,5	m
Superficie unitaria	397,6	m ²
Altura sobre el vertedero	2,75	m
Volumen útil unitario	1.093,4	m ³
Longitud del puente	12,5	m
Potencia del motor de accionamiento	1,5	CV
Velocidad periférica del puente	90	m/h
Velocidad ascensional a Q medio	0,85	m ³ /m ² /h
Velocidad ascensional a Q punta	1,48	m ³ /m ² /h
Tiempo de retención a Q medio	3,30	h
Tiempo de retención a Q punta	1,89	h
Carga hidráulica sobre vertedero a Q medio	4,77	m ³ /m/h
Carga hidráulica sobre vertedero a Q punta	8,35	m ³ /m/h

Tabla 27: Características decantador secundario EDAR Verín

Medida de Caudal y arqueta salida agua tratada

Medidor

Las aguas que provienen del canal de salida del decantador secundario, entran en un canal equipado con un Parshall Flume de 9 pulgadas.

Por encima de dicho canal se monta el medidor de caudal por ultrasonido que detecta con precisión el nivel de lámina de agua, el cual se convierte en caudal.

El medidor está provisto de un transmisor indicador/registrador y totalizador.

Las características principales del sistema son las siguientes.

Nº de unidades	1	Ud
Tipo	Parshall	
Longitud de Flume	305	m
Anchura de garganta	9	m
Anchura del canal de alojamiento	0.6	m
Altura del canal de alojamiento	0.8	m
Rango de medición	50/700	m ³ /h

Tabla 28: Características medidor salida decantador EDAR Verín

Arqueta de salida de agua tratada

Debido a la obligatoriedad de conducir las aguas tratadas mediante un colector emisario de gran longitud. Lo que permitiría en caso de tener que llevar a cabo un proceso de desinfección del efluente, un tiempo de contacto mayor de 15 minutos al caudal máximo de 600 m³/h.

El agua sale por un vertedero de pared gruesa a través de un perfil de la arqueta desde donde sale el colector emisario general al río Támega para aumentar la turbulencia.

Características principales del sistema:

Nº de unidades	1	Ud
Altura total	2,15	m
Altura útil	1.2	m
Longitud	2.1	m
Anchura	1.10	m

Tabla 29: Características vertedero de salida EDAR Verín

Colector emisario de salida

El agua tratada es llevada mediante una conducción por gravedad desde la arqueta de salida al río Támega de las siguientes características:

Material	Fibro cemento	
Diámetro	600	m m
Pendiente	0.23	%
Longitud	1.530	m
Nº de pozos	31	U d

Tabla 30: Características colector emisario de salida EDAR Verín

Recirculación de fangos biológicos

La línea de fangos constituye el conjunto de procesos y operaciones relacionados con el tratamiento de los lodos en exceso que contienen los elementos contaminantes separados del agua hasta su disposición final. La recirculación de fangos activados y el licor mezcla está íntimamente relacionado con el funcionamiento del tratamiento biológico.

Los fangos activados recogidos en la poceta central del decantador secundario, se conducen por presión hidrostática, a un pozo de bombeo. Este pozo se encuentra adosado al edificio de bombeo de fangos, teniendo contigua una cámara seca de llaves para los mecanismos de purga automática. Esta purga a partir del decantador se regula por medio de temporización, que actúa sobre la válvula neumática de manguito, siendo el régimen y frecuencia dependiente de las necesidades del proceso y experiencia en la operación.

Se purgan los fangos activados desde el depósito de fangos existente.

La recirculación de los fangos se realizará por bombas centrifugas sumergibles para fangos, instaladas en la arqueta de bombeo de fangos. Estas impulsan la biomasa al canal de reparto a las balsas biológicas, siendo el caudal medio previsto para la recirculación de alrededor del 75-100% del caudal medio de agua a tratar. El caudal unitario de cada una de las 2 bombas es de $175 \text{ m}^3/\text{h}$ a 4 m.c.a. La potencia unitaria es de 5.7 CV.

Las principales características son las siguientes:

Pozo de bombeo		
Longitud	2	m
Ancho	1,50	m
Altura total	5,00	m
Volumen total	15,00	m ³
Nº de bombas de recirculación	2	Ud
Tipo de bombas	Sumergibles super Vortex	
Caudal unitario	175	m ³ /h
Altura manométrica	4	m.c.a
Potencia unitaria	5,7	CV

Tabla 31: Características pozo de bombeo EDAR Verín

Recirculación licor mezcla

Para no sobrecargar hidráulicamente el decantador secundario para asegurar la desnitrificación exigida por recirculación elevada por encima del 100-150 % del caudal medio resulta imprescindible recircular en un circuito interno el 150% sobre el caudal medio, así que se recirculará en total un 250% sobre el caudal medio.

El licor mezcla se purga por tuberías DN-250 con un valvula de compuerta manual desde cada una de las balsas biológicas al pozo mencionado.

Con un bomba axial de hélice en posición vertical de 3.4 CV de potencia instalada, se puede bombear 486 m³/h a 0.8 mca. Las aguas se descargan en el canal de reparto a balsas biológicas de 0.6 m de ancho y 1 m de altura.

Las características principales del sistema son las siguientes:

Recirculación licor mezcla		
Longitud	2	m
Ancho	1,50	m
Altura total	4,45	m
Volumen total	13,35	m ³
Nº de bombas de recirculación	2	Ud
Tipo de bombas	Axial de hélice	
Caudal unitario	480	m ³ /h
Altura manométrica	0.8	m.c.a
Potencia unitaria	3.4	CV

Tabla 32: Características recirculación licor mezcla EDAR Verín

Purga y trasiego de fangos en exceso

Los fangos en exceso se conducen directamente del pozo de bombeo a la campana de distribución de un espesador circular. El espesamiento se consigue por decantación.

La compactación y espesamiento del fango está ayudado por una reja giratoria de peines, de accionamiento central; el acceso a la campana de distribución de un espesador circular. El espesamiento se consigue por decantación.

Un barredor de fondo, que forma parte de la reja giratoria de peines, arrastra el fango espesado a una pequeña poceta central donde se extrae por bombeo.

La fase acuosa rebosa a un canal perimetral en la parte superior del espesador desde donde se conduce a la arqueta de bombeo de filtrados y sobredrenantes ubicada en el edificio de secado y de allí por bombeo a la cabecera de la planta.

Las características principales son las siguientes:

Nº de unidades	1	Ud
Diámetro	7	m
Altura en vertedero	3,45	m
Altura total	3.80	m
Fangos retenidos (con desfosfatación)	1.873	Kg/d
Nº de rejillas giratorias de peines	1	Ud
Velocidad perimetral	90	m/h
Potencia motor accionamiento	0,33	CV
Sequedad del fango de entrada	0,8	%
Sequedad del fango de salida	3,5	%

Tabla 33: Características bombeo fangos en exceso EDAR Verín

Bombeo de fangos espesados

Se efectúa el trasiego de fangos espesados por presión hidrostática mediante bombas de tornillo helicoidal regulables, ubicadas en el edificio de tratamiento de fangos.

Las características principales del sistema son:

Nº de bombas de trasiego	1	Ud
Tipo	Tornillo helicoidal regulable	
Potencia	1,50	CV
Caudal	2,5-10	m ³ /h
Altura manométrica	10	mca

Tabla 34: Características bombeo de fangos espesados EDAR Verín

Secado de fangos

Máquina de secado (centrífuga)

La máquina de deshidratación de fangos es una centrífuga deshidratadora.

Los fangos espesados se mezclan con un floculante polimerizado (polielectrolito) a lo largo de la tubería de impulsión, los fangos quedan parcialmente floculados.

Los fangos así preparados y regulado su caudal para la operación entran directamente en la centrífuga decantadora. En esta máquina se aplica sobre los

fangos una fuerza gravitatoria equivalente muy aumentada, de manera que se separa muy rápidamente los fangos concentrados de la fase acuosa.

Para la extracción separada de la unidad de los fangos concentrados por un lado y los escurridos o sobredrenantes por otro, la máquina está dotada de un tornillo transportador interno, provisto de un motorreductor propio. De esta manera se opera y optimiza el funcionamiento de la máquina.

La fase acuosa o escurridos salen canalizados por la boca diferenciada y se dirigen directamente a la cabecera de planta.

La torta de fangos sale de la máquina por otra abertura y cae en una cinta transportadora que la lleva fuera del edificio de secado y se carga en contenedores para su transporte y disposición final.

El sistema dispone de toma de agua de servicio para limpieza de la máquina tras la jornada de trabajo, canalizándose los fluidos de la misma forma en la operación normal de cabecera de planta.

Las características principales del sistema son las siguientes:

Nº de unidades de deshidratación	1	Ud
Tipo	Centrifuga decantadora	
Disposición	Horizontal	
Caudal de trabajo	1-15	m ³ /h
Potencia motor principal	30	CV
Sequedad de la torta	>20	%
Nº cintas transportadoras	1	Ud

Potencia	1,5	CV
Nº de contenedores	2,0	Ud
Capacidad de los contenedores	5,0	m ³

Tabla 35: Características deshidratación centrífuga EDAR Verín

Preparación y dosificación de polielectrolito

La unidad de preparación de la solución de polielectrolito al 0.5% comprende un deposito provisto de un agitador de mezcla y tiene capacidad suficiente para una jornada de trabajo.

Las características principales del sistema son:

Nº de bombas de trasiego	1	Ud
Capacidad útil unitaria	1.100	IV
Nº de agitadores	2	Ud
Potencia	0,50	CV
Tipo de hélice	Sabre	

Tabla 36: Características preparación polielectrolito EDAR Verín

La salida del polielectrolito se dosifica al sistema de deshidratación, inyectándola a la tubería de impulsión de fangos. Dicha solución se diluye en línea al 0.1 %, previo al citado mezclador cónico para asegurar que la reactividad del polímero sea optimizada.

La dosificación de la solución madre de polielectrolito se efectúa mediante bomba dosificadora para este tipo de fluidos.

Las características del sistema son las siguientes:

Nº de bombas dosificadores	1	Ud
Tipo	Membrana de caudal regulable	
Caudal	0-410	l/h
Potencia	0,50	CV

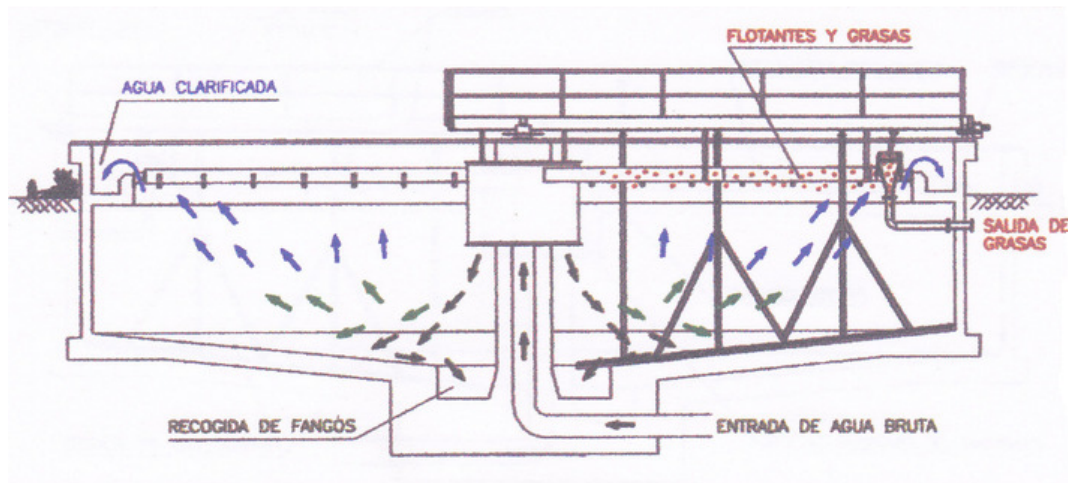
Tabla 37: Características dosificación polielectrolito EDAR Verín

5. Problemas encontrados y mejoras propuestas

5.1. Problemas detectados en la planta

5.1.1. Mal funcionamiento de las bombas de recogida de flotantes del Desarenador - Desnatador

La eliminación de arenas y grasas es uno de los pasos convencionales en el pretratamiento de aguas residuales urbanas. Tiene una gran importancia su buen funcionamiento ya que en muchas ocasiones previene posibles problemas en posteriores etapas del tratamiento. En numerosos casos en las grasas se pueden encontrar sustancias adversas que pueden dar lugar a inhibiciones en el proceso.



Durante la visita realizada a la EDAR de VERIN se detectó una gran acumulación de grasas en el espacio destinado a la eliminación de grasas en la planta, formándose en ocasiones espumas de origen filamentoso (foaming filamentoso), muchas veces acompañado de bulking, al no ser retiradas las bacterias que lo están causando dada la imposibilidad de controlar la capa de flotantes existente actúa como auténtico semillero de las mismas.

Este problema es debido a que la bomba de extracción de grasas no funciona correctamente, no pudiendo absorber el caudal producido.

En la actualidad el problema trata de ser solventado mediante la subcontratación de un camión cisterna a una empresa externa, que mediante una manguera provista de una bomba especial para grasas extrae la acumulación de estas flotantes.

Esta solución, aunque resulte correcta para realizar una retirada de grasas en caso de emergencia ante una eventualidad, no es la mejor opción como de actuación a largo plazo. Entre los problemas que presenta esta solución es en primer lugar el largo periodo que permanecen las grasas en el desarenador – desnatador sin ser retiradas lo que provoca un paso de las mismas a etapas posteriores del tratamiento provocando problemas en la eliminación de DBO. Además a largo plazo se produce un aumento del gasto, innecesario si se realizase una pequeña inversión que solventase definitivamente el problema.

5.1.2. Funcionamiento de las soplantes de todas las balsas biológicas dependientes.

Las soplantes instaladas en el biológico no poseen un funcionamiento independiente, es decir, en el momento en que uno de los tanques demanda oxígeno todas las soplantes de la planta se ponen en funcionamiento.

En general se mantienen elevados valores de oxígeno en las balsas debido al irregular reparto de licor mezcla entre ellas y al hecho de que aquella con el valor más bajo sea el que regule el funcionamiento de todas las soplantes.

Dicho reparto se ha intentando mejorar variando la apertura de las compuertas al objeto de conseguir una distribución equitativa.

Esta solución solo ha resuelto el problema en parte, puesto que pese a que actualmente en reparto del licor mezcla es ligeramente más equitativa, la configuración de las soplantes sigue provocando fallos en el funcionamiento de la planta.

Además en el desarenador – desnatador de geometría circular, la aeración funciona cuando lo hacen las soplantes encargadas de la oxigenación del fango activo del reactor biológico.

La discontinuidad y el escaso caudal de aire aportado disminuyen el rendimiento en la eliminación de flotantes.

Además hay que tener en cuenta que a nivel energético las soplantes demanda entre el 50% y el 70% del consumo energético total de planta, siendo este porcentaje mayor cuanto más oxígeno estén demandando las balsas de tratamiento biológico.

En este caso las instalaciones demandan más oxígeno del realmente necesario, lo cual repercute en el consumo energético de la planta elevándolo muy por encima del que sería necesario en caso de encontrarse estos procesos optimizados. Este aumento en la demanda energética se traduce en un aumento considerable en los costes en energía eléctrica.

Dado el precio del Kwh la reducción en el consumo que provocaría la solución de este problema podría compensar la inversión que había que realizar.

Este cálculo se realizara con más detalle al realizar el estudio de las alternativas de solución propuestas que se desarrollaran en el siguiente apartado del proyecto.

5.1.3. Problemas medioambientales provocados por vertidos

Analíticas

En primer lugar, para poder realizar los cálculos de dimensionamiento de la EDAR, se debe conocer los datos que caracterizan al agua de entrada: En este caso se ha podido obtener en la caracterización del agua a lo largo de los últimos años. A continuación se muestra el promedio mensual de los parámetros más importantes, medidos a la entrada de la planta.

Característica	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Influente												
Ph	7,2	5,82	6,45	6,01	6,24	6,39	6,81	6,36	6,8	6,91	5,95	5,9
Conductividad	236	197	302	224	245	203	249	1690	1221	930	189,5	201
Tª agua	13,5	15,9	13,3	13	14,3	17,5	18,1	17,5	17	16,3	14,9	13,5
Sólidos en Suspensión	35	240	140	225	130	170	210	102	201	221	261	189

Mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales en Verín

Característica	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Residuo Seco	300	300	300	489	370	433	523,33	490	733	699	366	189
DQO	184	195	245	491	190	390	505	489	275	188	121	82
DBO5	28,7	108	224	289	153,3	79	201	190	156	102	74	54
Nitratos	4	2	2	1,8	1,8	1	1,2	1,8	1,4	1,8	1,89	1,65
Nitritos	0,044	0,061	0,006	0,09	0,007	0,6	0,9	0,04	0,07	0,09	0,09	0,06
N tot	4,044	2,061	2,006	1,89	1,807	1,6	2,1	1,84	1,47	1,89	1,98	1,71
Fosfatos	6,4	2,9	7,2	2,9	3,5	2,8	3,,2	13,6	14,5	12,6	3,6	3,9
Turbidez	47,5	76,7	64,4	49,9	37	28	18	63,4	70,4	63,4	55,2	41,2

Tabla 38: Analíticas influente EDAR Verín

Mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales en Verín

A continuación se ha obtenido el promedio de estos valores así como el percentil 95 que nos permitirá conocer el comportamiento típico del influente.

Característica	Promedio	Percentil 95
Influente		
Ph	6,403	7,04
Conductividad	490,625	1432,05
Tª agua	15,4	17,77
Sólidos en Suspensión	177	249,45
Residuo Seco	432,694	714,3
DQO	279,583	497,3
DBO5	138,25	253,25
Nitratos	1,861	2,9

Mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales en Verín

Característica	Promedio	Percentil 95
Nitritos	0,171	0,73
N tot	2,033	2,974
Fosfatos	6,718	14,05
Turbidez	51,258	73,23

Tabla 39: Valores promedio y percentil 95 analíticas influente EDAR Verín

Para la realización de los cálculos posteriores tomaremos los datos obtenidos a partir del percentil 95 ya que así nos aseguraremos de que nuestra EDAR tenga capacidad suficiente para tratar el caudal de entrada con sus características típicas en el 95 % de las ocasiones.

En la actualidad la planta no trata el caudal de entrada de manera adecuada como puede observarse en las analíticas siguientes correspondientes al mismo periodo que las analíticas estudiadas en el caso del influente.

Mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales en Verín

Característica	Unidades	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	Sep.	octubre	nov	dic	Valor maximo
Ph		6,95	6,88	7,61	6,91	7,43	7,39	7,26	7,21	7,38	6,89	7,03	7,28	6--9
Conductividad	µS/cm	244,5	317	197,2	301	201,2	220,3	398	323	276	213,1	174,2	167,3	750
Turbidez	NTU	3,731	25,35	2,795	6,578	7,995	3,991	5,213	6,461	4,368	12,285	8,255	8,71	5
Nitritos	mg/l	0,03	0,066	0,047	0,031	0,049	0,036	0,036	0,03	0,021	0,05	0,038	0,049	
Nitratos	mg/l	4,66	8,36	6,8	4,84	6,38	6,97	5,72	4,84	4,84	4,84	9,9	4	
Nt	mg/l	4,69	8,426	6,847	4,871	6,429	7,006	5,756	4,87	4,861	4,89	9,938	4,049	10
DQO	mgO ₂ /l	30	49,4	34,5	21	18	14,325	15,3	10,95	15	31,5	28,95	4,5	125
DBO5	mgO ₂ /l	3,9	28,99	7,8	12,45	3	3,45	3,9	4,95	4,05	16,05	14,25	3,3	25
Fosfatos	mg/l	0,95	1,01	1,26	2,14	1,24	1,19	2,1	1,58	1,91	2,25	1,69	5,33	1
Residuo Seco	mg/l	112,5	150	129	150	187	164,71	152,94	37,5	105,9	70,59	141,18	58,82	
Sólidos en Suspensión	mg/l	8,57	29,705	4,329	19,5	10,4	15,6	18,46	19,5	8,671	31,2	24,375	13	35

Tabla 40: Analíticas effluente EDAR Verín

Mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales en Verín

Este mal funcionamiento causa problemas ecológicos en el río Támega en el cual se vierte el efluente, viéndose alterada la fauna que en el habita. Además de los problemas ecológicos en los últimos años el ayuntamiento ha tenido que afrontar las sanciones económicas impuestas por la Confederación Hidrográfica del Duero por la contaminación de las aguas

Dimensionamiento

Datos base

Consideramos una población equivalente (he) de 30.000 habitantes equivalentes y una dotación diaria de 270 l/he. La dotación considerada es ligeramente superior a la habitual en el dimensionamiento de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales Urbanas (situada entre 150 y 200 l/he) por las características de la zona a estudiar.

Esto nos da un caudal a tratar:

$$Q = \text{Dotación} * he$$

Par el cálculo de las concentraciones hemos tenido en cuenta la siguiente relación.

$$ppm = \left(\frac{gr}{he} \right) * \left(\frac{1}{Dotac} \right) * 1000$$

Concepto	Ud.	
Datos población		
Habitantes equivalentes	(he)	30000
Dotación	(l/he)	270

Concepto	Ud.	
Caudal a tratar	(m3/día)	8100
Entrada		
SS Agua bruta	(gr/he)	67,3515
SS Agua bruta	(ppm)	249,45
Carga diaria SS	(kg/día)	2020,545
DBO5 Agua bruta	(gr/he)	68,31
DBO5 Agua bruta	(ppm)	253,00
Carga diaria DBO5	(kg/día)	2049,3
DQO Agua bruta	(ppm)	497,3
Carga diaria DQO	(kg/día)	4028,13
P entrada biológico	(ppm)	14,05
Carga diaria P	(kg/día)	113,805
Nt agua bruta	(ppm)	2,9
Carga diaria Nt	(kg/día)	23,49
Parámetros requeridos		
SS Efluente	(ppm)	35

Concepto	Ud.	
kg diarios SS efluente	(kg/día)	283,5
DBO5 Efluente	(ppm)	25
kg diarios DBO5 efluente	(kg/día)	202,5
P Efluente	(ppm)	1
kg diarios P efluente	(kg/día)	8.1
Nt Efluente	(ppm)	15
kg diarios Nt efluente	(kg/día)	121,5
A eliminar		
SS	(kg/día)	1737,045
SS	(%)	85,97%
DBO5	(kg/día)	1846,8
DBO5	(%)	90,12%
P	(kg/día)	
P	(%)	86%
Nt	(kg/día)	-98,01
Nt	(%)	-417%

Tabla 41: Características generales EDAR Verín

Línea de agua

A continuación estudiaremos con detenimiento la actual línea de agua para tratar de encontrar el punto donde se producen los fallos que provocan los vertidos

Pozo de gruesos

Como ya se ha explicado en el punto dedicado a la teoría general de una EDAR en el pozo de gruesos se pretenden eliminar los sólidos de mayor tamaño que podrían poner en peligro la integridad de los equipos que se sitúan a continuación o que podrían dificultar la eliminación de contaminantes en otros puntos de la planta.

Además de los parámetros anteriormente mencionados. Para el cálculo del pozo de gruesos tendremos en cuenta los siguientes datos

- Caudal máximo = 405 m³/h
- Velocidad ascensional a caudal de diseño = 0.5 (m³/m².min)
- Relación longitud anchura = 2
- Profundidad útil = 1.07m
- Producción normal de arena u residuos secos = 2,43

$$\text{Tiempo medio de residencia a caudal medio} = 60 \frac{\text{Volumen}}{\text{Caudal medio}}$$

$$\text{Tiempo medio de residencia a caudal medio} = 2.31 \text{ m}$$

$$\text{Tiempo medio de residencia a caudal máximo} = \frac{\text{Volumen util} \cdot 60}{\text{Caudal maximo}}$$

$$\text{Tiempo medio de residencia a caudal máximo} = 1.9 \text{ minutos}$$

Al realizar los cálculos con los datos de la planta observamos que los tiempos de residencia no se corresponden exactamente con los que se especifican en las características de la planta pero ambos se encuentran dentro de un rango que no pone en peligro el correcto funcionamiento de la planta.

A continuación calcularemos la producción de arena esperada

Producción normal de arena u residuos secos

$$= \frac{\text{Caudal} \cdot \text{m}^3 \text{ de arena y residuos por } 1000 \text{ m}^3 \text{ de agua residual} \cdot 24}{1000}$$

$$\text{Producción normal de arena u residuos secos} = 19.64 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Rejas de gruesos

El desbaste en el pretratamiento se realiza por medio de rejas de gruesos que tienen por objeto retener y separa los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión. Evitando así depósitos posteriores, evitando obstrucciones y aumentando la eficiencia de tratamientos posteriores, también se consigue de manera indirecta reducir el consumo total de oxígeno necesario para la depuración.

En el caso que nos ocupa tenemos unas rejas inclinadas con las siguientes características:

Caudal máximo = 405 m³/h

Caudal medio = 337.5 m³/h

Caudal mínimo = 167 m³/h

Velocidad de paso entre barrotes con la reja sucia = 0.9 m/s

Número de líneas de desbaste = 1

Espesor de los barrotes = 12 mm

Distancia entre barrotes = 60

Resguardo del canal = 50 mm

Ángulo de inclinación = 60°

Máxima colmatación entre dos limpiezas = 30%

Relación profundidad útil anchura = 0.3

$$\text{Caudal de diseño por línea} = \frac{\text{Caudal de diseño}}{\text{Nº de líneas}}$$

$$\text{Caudal de diseño por línea} = 337.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Caudal máximo por línea} = \frac{\text{Caudal máximo}}{\text{Nº de líneas}}$$

$$\text{Caudal máximo por línea} = 405 \text{ m}^3/\text{h}$$

Superficie útil del canal

$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{\text{Caudal de diseño por línea}}{3600}}{\text{Velocidad de paso entre barrotes con la reja sucia}} \\ &* \frac{\text{Distancia entre barrotes} + \text{Espesor barrotes}}{\text{Distancia entre barrotes}} \\ &* \frac{1}{1 - \text{Máxima colmatación entre limpiezas}} \\ &* \frac{\sin(\pi * 2 * \text{ángulo de inclinación})}{360} \end{aligned}$$

$$\text{Superficie útil del canal} = 0.16\text{m}^2$$

$$\begin{aligned} & \text{Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia} \\ &= \text{Velocidad de paso entre barrotes con la reja sucia} * (1 \\ & - \text{Maxima colmatacion entre limpiezas}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia} \\ &= 0.63 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Velocidad de paso entre barrotes a caudal de máximo con reja limpia} = \\ & \text{Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia} * \\ & \frac{\text{Caudal máximo por línea}}{\text{Caudal de diseño por línea}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Velocidad de paso entre barrotes a caudal de máximo con reja limpia} \\ &= 0.756 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Velocidad de paso entre barrotes a caudal de máximo con reja colmatada} \\ &= \text{Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja sucia} \\ & * \frac{\text{Caudal máximo por línea}}{\text{Caudal de diseño por línea}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Velocidad de paso entre barrotes a caudal de máximo con reja colmatada} \\ &= 1.08 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño} \\ &= \frac{\frac{\text{Caudal de diseño por línea}}{3600}}{\text{superficie útil}} \end{aligned}$$

$$\text{Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño} = 0.59 \text{ m/s}$$

$$Velocidad\ de\ aproximaci3n\ por\ el\ canal\ a\ caudal\ m3nimo = \frac{\frac{Caudal\ m3nimo}{n^o\ de\ l3neas}}{\frac{3600}{superficie\ 3til}}$$

$$Velocidad\ de\ aproximaci3n\ por\ el\ canal\ a\ caudal\ m3nimo = 0.29\ m/s$$

No deber3an existir problemas en la reja de gruesos

Desarenado/desengrasado.

Como se ha especificado en apartados anteriores la planta cuenta con un desarenado/desengrasado, que tendr3a la funci3n de eliminar materia que pudiese interferir en tratamientos posteriores, pero que a efectos pr3cticos, no resulta 3til, ya el funcionamiento de la aireaci3n del mismo est3 condicionado por el funcionamiento de las soplantes de aireaci3n, no siendo adecuado a las necesidades de la planta. No se tratar3 en profundidad este paso del tratamiento, ya que se considera que se resultaría repetitivo y no aportaría informaci3n adicional 3til para comprender el problema objeto de estudio, ya que en 3l no se producir3 eliminaci3n de materia org3nica.

Tratamiento biol3gico

Como se ha descrito anteriormente cada una de las cuatro balsas de tratamiento biol3gico est3n formadas por una zona an3xica y una zona 3xica. En ellas se producir3 el inicio de la eliminaci3n de DBO y SS en la planta. Como se ha comentado a lo largo de este apartado uno de los principales problemas de la planta es la eliminaci3n insuficiente de materia org3nica por lo que el estudio de la idoneidad del sistema actual resulta crucial.

A continuaci3n encontramos una tabla donde se resumen los requerimientos de eliminaci3n de DBO₅ y SS necesarios en la planta. As3 podremos comprobar si la configuraci3n actual cumple los requisitos.

- Caudal de diseño= 337.5 m³/h
- n° de líneas = 4
- Concentración de sólidos a la salida del biológico = 30 mg/l
- Concentración de DBO₅ a la salida del biológico = 25 ,mg/l
- Concentración de sólidos a la entrada del biológico = 249.45 mg/l
- Concentración DBO a la entrada del biológico = 253 mg/l

La concentración de fangos activos (MLSS) viene dado en Kg d lodos/m³ del tanque, es decir, la cantidad de sólidos existentes en el reactor por unidad de volumen. Su significado corresponde a la cantidad de sólidos en suspensión en el liquido mezcla (agua bruta + fango + aire).

- MLSS= 4 Kg/m³ = 4000 mg/l

Teóricamente la carga másica se calcula a partir de la siguiente relación:

$$C_m = \frac{Kg DBO_5 / dia(entrada)}{Kg fango}$$

- Relación alimentos/microorganismos (CM) = 0.13 (Kg DBO₅/KgMLSS d)

Ambos datos han sido obtenidos a partir de la documentación proporcionada por la planta.

- Profundidad útil = 4.1 m
- Relación longitud anchura = 1.5
- Concentración SS en recirculación = 8000 mg/l

Rendimiento esperado SS

$$= (\text{Concentración SS entrada} - \text{concentración SS salida}) * 100$$

$$\text{Rendimiento esperado SS} = 87.97\%$$

Rendimiento esperado DBO5

$$= (\text{Concentración DBO5 entrada} - \text{concentración DBO5 salida}) * 100$$

$$\text{Rendimiento esperado SS} = 90.12 \%$$

Kg DBO5 alimentados por día

$$= \frac{\text{Caudal de diseño} * 24 * \text{concentración DBO5 a la entrada}}{1000}$$

$$\text{Kg DBO5 alimentados por día} = 2049,3 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Kilos MLSS en balsa de lodos activo} = \frac{\text{Kg DBO5 alimentados por día}}{CM}$$

$$\text{Kilos MLSS en balsa de lodos activo} = 15763,85 \text{ Kg}$$

$$\text{Volumen total útil} = \frac{\text{Kilos MLSS en balsa de lodos activo} * 1000}{MLSS}$$

$$\text{Volumen total útil} = 3941 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen unitario útil} = \frac{\text{Volumen total útil}}{n^{\circ} \text{ líneas}}$$

$$\text{Volumen unitario útil} = 985 \text{ m}^3$$

$$\text{Superficie unitaria} = \frac{\text{Volumen}}{\text{profundidad}}$$

$$\text{Superficie unitaria} = 240,302 \text{ m}^2$$

$$\text{Anchura de cada balsa} = \sqrt{\frac{\text{superficie}}{\text{relación longitud anchura}}}$$

$$\text{Anchura de cada balsa} = 12.65$$

$$\text{Longitud de cada balsa} = \frac{\text{superficie}}{\text{anchura}}$$

$$\text{Longitud de cada balsa} = 19 \text{ m}$$

$$\text{Tiempo de retención hidráulico a caudal de diseño} = \frac{\text{Volumen total útil}}{\text{Caudal de diseño}}$$

$$\text{Tiempo de retención hidráulico a caudal de diseño} = 11,67 \text{ h}$$

$$\text{Carga volumétrica a caudal de diseño} = \frac{\text{Kg DBO5 alimentados por día}}{\text{Volumen total útil}}$$

$$\text{Carga volumétrica a caudal de diseño} = 0.52 \text{ Kg DBO5/m}^3 \text{ día}$$

Caudal teórico de recirculación

$$= \frac{MLSS}{\text{Concentración SS en recirculación} - MLSS} * \text{Caudal de diseño}$$

$$\text{Caudal teórico de recirculación} = 337,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Caudal de recirculación recomendado} = \text{Caudal de diseño}$$

$$\text{Caudal de recirculación recomendado} = 337,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Producción de fangos en exceso

$$\begin{aligned} &= (1,2 * CM^{0,23} + 0,5 \\ &\quad * (\frac{\text{Concentración SS a la entrada del biológico}}{\text{Concentración de DBO5 a la entrada del biológico}} - 0,6)) \\ &\quad * \frac{\text{Rendimiento esperado DBO5}}{100} * \text{Kg DBO5 alimentados por día} \end{aligned}$$

$$\text{Producción de fangos en exceso} = 1742,5 \text{ Kg SS/día}$$

Caudal de fangos en exceso a purgar de la recirculación

$$= \frac{\frac{\text{Producción de fangos en exceso}}{24}}{\frac{\text{Concentración SS en recirculación}}{1000}}$$

$$\text{Caudal de fangos en exceso a purgar de la recirculación} = 9,07 \text{ m}^3/\text{h}$$

Caudal de fangos en exceso a purgar del licor mixto

$$= \frac{\frac{\text{Producción de fangos en exceso}}{24}}{\frac{\text{MLSS}}{1000}} \frac{\text{MLSS}}{1000}$$

$$\text{Caudal de fangos en exceso a purgar del licor mixto} = 18,15 \text{ m}^3/\text{h}$$

Edad del fango

$$= \frac{\frac{\text{Volumen total útil} \cdot \text{MLSS}}{1000}}{\text{Producción de fangos en exceso} + \frac{\text{Caudal de diseño} \cdot \text{Concentración SS a la salida} \cdot 24}{1000}}$$

$$\text{Edad del fango} = 8 \text{ días}$$

Observamos que el porcentaje de eliminación de materia orgánica en el reactor biológico a nivel teórico es correcta y debería cumplir con los requisitos de salida de la planta. A partir de esta observación podemos afirmar que el problema de funcionamiento de la planta no se encuentra en el dimensionamiento de las balsas de biológico.

Continuaremos el estudio del tratamiento biológico analizando las necesidades de oxígeno de las balsas.

Necesidades de oxígeno:

$$ON = d \cdot D + 0.7 \cdot C \cdot M$$

ON= Kg O₂/día

d= coeficiente de demanda potencial del agua que se introduce (0.4)

C=Coeficiente de demanda de los microorganismos de los lodos (0.08)

M= Kg MLSS

$D = (\text{kg DBO/día (entrada)})$

Obtenemos una necesidad de oxígeno de 2180,52 $\text{KgO}_2/\text{día}$ que dividiendo entre el caudal nos proporciona una necesidad de oxígeno de $0,2692 \text{ KgO}_2/\text{m}^3$

En la actualidad y a través de los datos proporcionados por el jefe de planta sabemos que las soplantes del biológico son dependientes unas de otras y que se activan cuando la concentración de oxígeno de una de las balsas desciende de los 0.2 Kg/m^3 . Esto produce dos problemas:

- Algunas de las balsas se encuentran con una concentración de oxígeno menor a la calculada para que se produzca la depuración de forma correcta durante algunos periodos de tiempo. Esto provoca que el agua tratada a la salida de estas balsas tenga un contenido en materia orgánica superior al que se supone que saldría según los cálculos realizados.
- Se pueda dar también la situación contraria. Algunas balsas pueden recibir un caudal de oxígeno superior al que estarían demandando en ese momento produciéndose un fenómeno denominado “bulking”, los lodos contienen exceso de gas, disminuye la densidad y no sedimentan. Provocando también problemas en la depuración del agua y aumentando la DBO de salida de las balsas a decantación biológica. Durante la visita a la planta se observó que las 2 de las 4 balsas presentaban ese problema en ese momento

El nivel de fósforo eliminado por vía biológica, uno de los mayores problemas que presenta la planta, se encuentra relacionado de forma directa con la cantidad de sustrato que pueda ser fermentado por los microorganismos en la fase anaerobia, por lo cual, al no disponer de este sustrato, las bacterias acumuladoras de fósforo no podrán realizar la liberación de P y almacenar materia orgánica fácilmente biodegradable en forma de PHA. Ésto da a entender que la mayor parte de la MOFB es consumida por los microorganismos encargados de la eliminación del nitrógeno utilizándolo como

fuentes de carbono. La eliminación biológica de fósforo está influenciada por la cantidad y tipo de sustrato disponible, el tiempo de duración de las fases, la presencia de oxígeno disuelto, las concentraciones de nitratos y nitritos, la temperatura del agua residual, el pH y el tiempo de retención de sólidos [Ran 1992]

[Sed 1991]

Partiendo de estos datos podemos afirmar que uno de los principales problemas en el correcto tratamiento del agua residual en la planta es el reparto de oxígeno en las balsas.

Además ha de tenerse en cuenta que la aireación es la responsable de entre el 50% y el 70% del gasto energético de planta y este gasto es proporcional al caudal de oxígeno, por lo que al proporcionar una aireación innecesaria no solo estamos provocando problemas de depuración si no que estamos incurriendo en un importante aumento del gasto de operación de la planta.

Decantador secundario

A continuación se realizará un estudio del funcionamiento del decantador secundario existente en la planta.

- CH: La carga hidráulica está comprendida entre 0,5 y 1,5. Se adopta el valor de 1,5 como criterio de seguridad.
- Nº de decantadores = 1

$$\text{Superficie necesaria} = \frac{\text{Caudal de diseño}}{CH}$$

$$\text{Superficie necesaria} = 22,5 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro necesario} = 16,9 \text{ m}$$

Como se puede observar tras la realización de los cálculos existe un sobredimensionamiento en el paso de decantación secundaria, el diámetro

necesario para el tratamiento del caudal de entrada es de 16,9 aproximadamente el tamaño del decantador que ya existía en la planta desde un principio, por lo que no deberían existir problemas de depuración en el decantador

A continuación calcularemos los lodos producidos en el decantador secundario

Producción de fangos

$$= \text{Caudal} * \text{Concentración SS entrada decantación}$$

$$\frac{\text{Eliminación de sólidos en suspensión}}{100} * 24$$
$$* \frac{100}{1000}$$

$$\text{Producción de fangos} = 170.1 \text{ Kg SS/día}$$

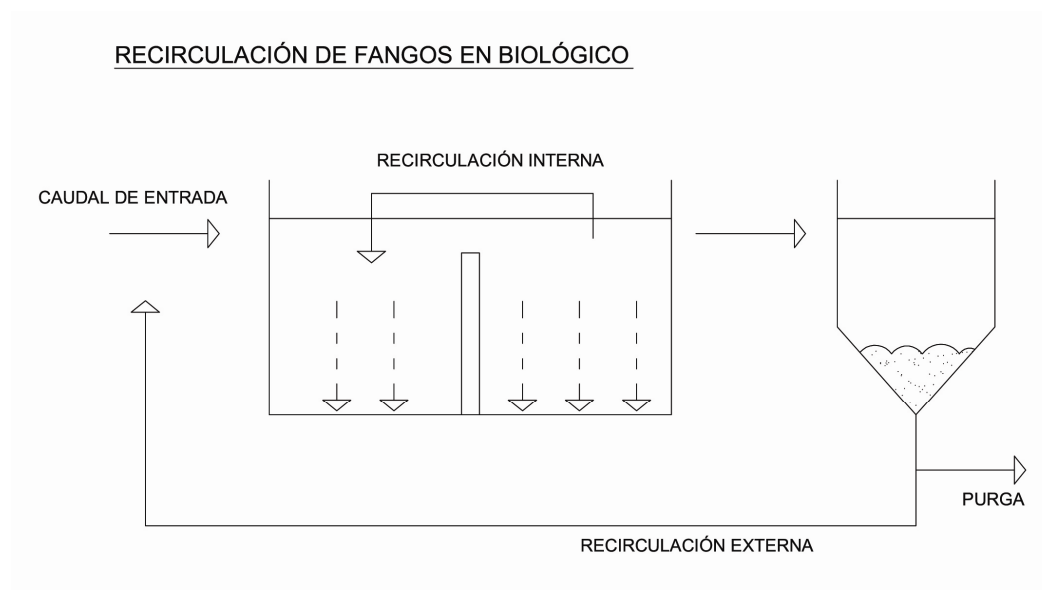


Ilustración 29: Recirculación de fangos en tratamiento biológico

5.1.4. Fallo en las condiciones de Seguridad y Salud en las instalaciones.

Se ha detectado la ausencia de rodapié en las barandillas de la planta. Pese a que por su configuración resulta altamente improbable la caída de personas a distinto nivel sí que se prevé riesgo de caída de objetos al nivel inferior.

Se ha observado también riesgo de atrapamiento en las ruedas del decantador ya que estas no cuentan con un dispositivo eficaz de protección.

Los estudios de las soluciones propuestas para todos estos fallos a todos estos fallos se estudiarán más adelante en el apartado de mejoras del proyecto.

5.2.Solución a los problemas actuales para la correcta explotación de la EDAR

5.2.1. Mejora I: Cambio de las bombas de desnatador.

Como se ha indicado en el estudio de los problemas de la EDAR las bombas utilizadas en la planta para retirada de grasas en el desarenador / desnatador no son adecuadas para la retirada de las mismas, provocando una acumulación de grasas en la parte superior del tanque de desarenado. Actualmente dicho sistema está inutilizado.



Ilustración 30: Grasas a la salida del desnatador

Las grasas es un tipo de contaminación bastante problemática, ya que se trata de materia orgánica lentamente biodegradable, esto es, antes de degradar las grasas, las bacterias van a degradar materia orgánica fácilmente biodegradable, como puedan ser los azúcares. Por ello los aceites y grasas necesitan de un elevado tiempo de retención hidráulico para que puedan desaparecer; lo que al final supone que se vayan acumulando poco a poco, generando una capa de flotantes que, de no retirarse de manera mecánica, irá incrementando con el tiempo.

Esta capa de grasas o natas son el sustrato preferido por determinadas bacterias filamentosas, muy especialmente por *Nocardia sp.*, lo que implica que, a la larga, el rendimiento de la EDAR se verá disminuido.

Durante la visita realizada a la EDAR de VERIN se detectó una gran acumulación de grasas en el espacio destinado a su eliminación en la planta, se pudo comprobar que a pesar de que el diseño del desnatador parecía correcto, presentaba una importante acumulación de flotantes, su instalación impedía una correcta eliminación de las grasas y flotantes concentrados, formándose en ocasiones espumas de origen filamentosos (foaming filamentosos), muchas veces acompañado de bulking, al no ser retiradas las bacterias que lo están causando, dada la imposibilidad de controlar la capa de flotantes existente, actúa como auténtico semillero de las mismas.

Si las grasas y flotantes concentradas en el desnatador no son eliminadas periódicamente estas vuelven a entrar en el sistema dejando de tener efecto los sistemas del desengrasador y la eliminación de flotantes de la decantación secundaria.

En la actualidad el problema trata de ser solventado mediante la subcontratación de un camión cisterna a una empresa externa, que mediante una manguera provista de una bomba especial para grasas extrae la acumulación de estas flotantes.

Con el fin de aumentar la su operatividad se propone la mejora del sistema de extracción de grasas mediante la instalación de una bomba de tornillo helicoidal dotada de una tolva para la recogida de los flotantes e instalada en el lugar que actualmente ocupa el cajón de recepción de grasas.

La bomba contaría con un cuadro eléctrico para su manipulación en local, siendo toda la operación de descarga a voluntad del operador, de manera que se asegure su presencia y el control de la operación. Se propone un cambio de las bombas de retirada de flotantes por una bomba de tornillo helicoidal, adecuada para este propósito, solucionando así de manera definitiva el problema.

A largo plazo esta solución mejorara el tratamiento de la planta y tras su amortización generará un ahorro económico, ya que no será necesario depender de camiones cisterna externos.

5.2.2.1. Estudio económico

Concepto	Ud	Coste unitario	Coste Total
Bomba tornillo helicoidal	1	1.380,00	1.380,0€
Instalación eléctrica	1	402,50	402,5€
Conjunto tubería para elevación a contenedor de grasas	1	540,50	540,5€
Montaje	1	345,00	345,0€
TOTAL			2686 €

5.2.2. Mejora II: Automatización independiente de las soplantes

La aeración es el principal problema que plantea esta depuradora desde el punto de vista de la operación normal de la misma es la aireación de planta. Podemos distinguir dos procesos diferentes de aireación en la planta:

1. En el desarenador de geometría circular, la aeración funciona cuando lo hace alguna de las soplantes encargadas de la oxigenación del fango activo del reactor biológico. La discontinuidad y el escaso caudal de aire aportado al desarenador disminuye el rendimiento de eliminación de flotantes.
2. En las balsas del biológico, en general, se mantienen elevados valores de oxígeno debido al hecho de que aquella con el valor más bajo sea la que regule el funcionamiento de las soplantes.

Para tratar de solventar este problema se ha bajado el límite de O_2/m^3 al que comienzan a funcionar las mismas. Además de no solventar el problema inicial se ha añadido un segundo problema provocado por la falta de oxigenación de aquellas balsas que se encuentran entre el valor necesario para la depuración y el valor límite de funcionamiento de las soplantes.

Esquema del sistema de aireación actual:

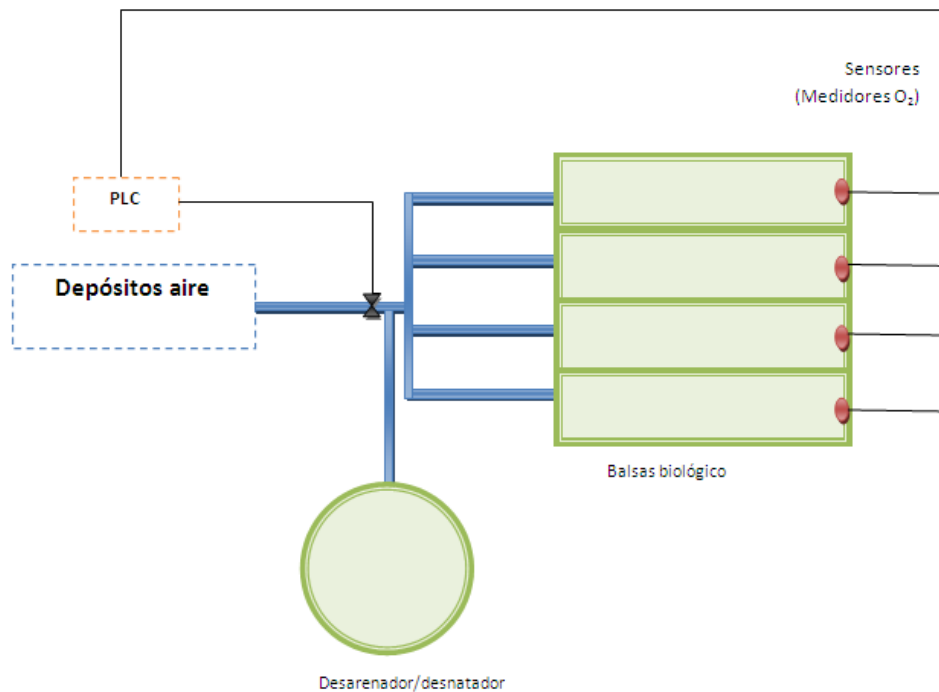


Ilustración 31: Esquema sistema de aireación actual EDAR Verín

Como se puede observar la regulación del caudal de aire de entrada a la línea de agua de la planta está centralizada en una única válvula accionada a través de un PLC que da la orden de abrir el flujo de aire cuando el contenido en O₂ una de las balsas desciende de 0,2 KgO₂/m³. Causando los problemas antes mencionados.

La solución propuesta se muestra en el siguiente esquema:

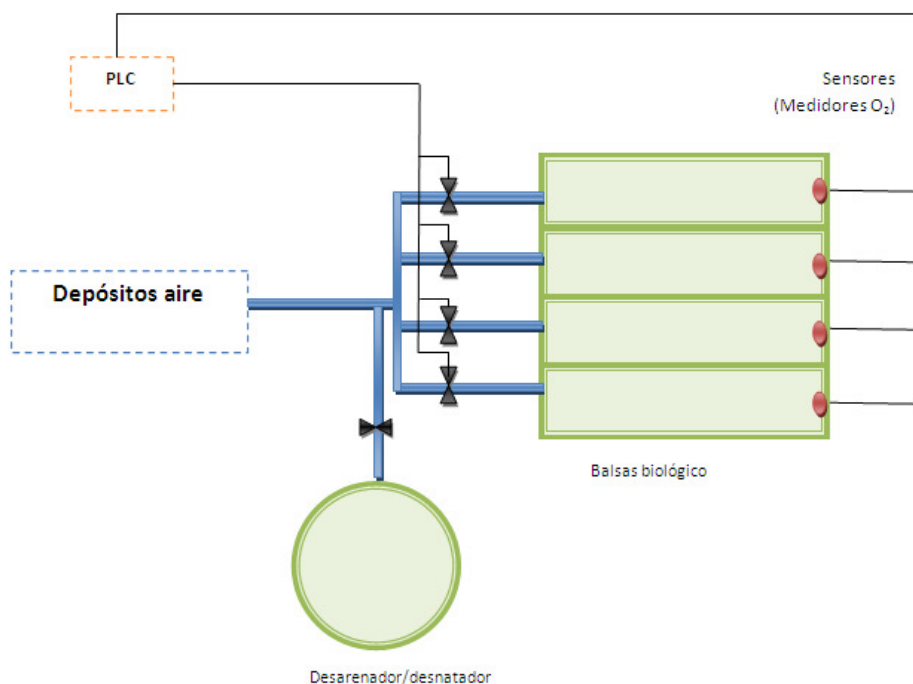


Ilustración 32: Esquema solución propuesta para la aireación EDAR Verín

La mejora consiste en la instalación de cinco (5) nuevas válvulas cuatro (4) de ellas automáticas y conectadas al PLC existente (con capacidad para generar las 4 señales de salida necesarias) que se encargarán de que las balsas reciban en todo momento la cantidad de aire adecuada para alcanzar la capacidad de depuración nominal para la que se han diseñado y una (1) manual que regulara la aireación del desarenador.

5.2.2.2. Estudio económico

CONCEPTO	UNIDADES	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Válvulas	5	9225	46125
Instalación electrónica	1	1638	1638
Medidor de presión	1	570	570
Medidor de caudal de aire	1	2817	2817
Montaje	1	1168	1168
TOTAL			52360

5.2.3. Mejora III: Instalación variadores de frecuencia en soplantes de aireación.

En un tratamiento biológico aerobio por fangos activos, como es el caso de la EDAR de Verín, es imprescindible controlar de forma precisa el contenido de oxígeno disuelto en el reactor. De este parámetro depende el correcto funcionamiento del proceso y con ello los rendimientos depurativos a obtener.

Un déficit de oxígeno disuelto implica una variación en las condiciones de trabajo, favoreciendo la proliferación de organismos indeseables (microorganismos filamentosos,...), así como se favorecen, en algunas zonas del reactor, condiciones anaerobias que pueden generar olores. Con todo esto se vería afectada la calidad del efluente, obteniendo un empeoramiento del mismo.

Por otra parte, un exceso de oxígeno supone un derroche innecesario de energía, no suponiendo ningún beneficio al proceso biológico.

Por todo esto es sumamente importante controlar al máximo el aporte de aire al tratamiento biológico.

La instalación de variadores de frecuencia en las válvulas de regulación de las soplantes de aireación actúa como regulación del caudal de entrada y minimiza el nº de paradas y arranques, de modo que se reduce en consumo energético de la planta a la vez que alarga la vida útil de los equipos donde se hayan instalado

Se propone la instalación de los siguientes variadores de frecuencia de ABB o similares. La tecnología de los convertidores de frecuencia extiende el rango de velocidad de trabajo de los motores desde cero hasta valores por encima de la velocidad nominal, incrementando la productividad del proceso. Cuando la capacidad es lo suficientemente baja, el Convertidor de Frecuencia reduce la velocidad de la máquina y ahorra energía.

El sistema de aireación en el biológico de la EDAR de Verín consta de los siguientes equipos:

- **aireadores superficiales** de dos velocidades,
- **8 medidores de oxígeno** (dos unidades por reactor) de la marca Endress+Hauser modelo COS4 o similar.

Para un correcto control del aporte de oxígeno se propone instalar un variador de velocidad en cada aireador al tratamiento biológico, con el fin de controlar de forma más estricta el aporte de aire en función de las necesidades.

La mejora propuesta consiste en la instalación de los siguientes elementos:

- 4 variadores de frecuencia marca POWER ELECTRONICS modelo SDRIVE 500, de 37 kW o similar.
- Programación del sistema de telemando en el SCADA de la instalación.
- Instalación y montaje.
- Puesta en marcha de las instalaciones.



Ilustración 33: Variadores de frecuencia power electronics

Gracias a la instalación de estos equipos se conseguirá una reducción de aproximadamente un 15% en la potencia absorbida de la red.

Lo que se traduciría en un ahorro aproximado de 337 KWh/d

5.2.2.3. Estudio económico

CONCEPTO	UNIDADES	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Convertidor de frecuencia Power Electronics, SDRIVE 400	4	5.435,00	21740,00
Programación	1	1.500,00	1.500,00
Instalación y montaje	1	900,00	900,0
TOTAL			24140,0 €

5.2.4. Mejora IV: Instalación rodapiés en barandillas.

De la visita realizada a las instalaciones de las depuradoras de Verín se pudo observar que en lugares de paso tales como pasarelas, escaleras y otras plataformas, carecían en su gran mayoría de rodapiés, con el consiguiente peligro de accidentes que ello implica.



Ilustración 34 Estado barandillas EDAR Verín

Por todo ello se procedería la instalación de rodapiés en las barandillas de la planta dando prioridad a las de mayor riesgo de caída de objetos durante los trabajos a distinto nivel. Según el **Art. 23** de la **Ordenanza General de Seguridad e Higiene** en el trabajo.

5.2.2.4. Estudio económico

CONCEPTO	UNIDADE S	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Rodapié	60	50,00	3000,00
TOTAL			3000,00€

5.2.5. Mejora V: Instalación de barandillas en el decantador secundario

Uno de los puntos más importantes dentro de la explotación de la EDAR es el cuidado por la Seguridad de los trabajadores, de esta manera ha de tenerse especial cuidado en minimizar los riesgos potenciales que se puedan producir en el lugar de trabajo, con el fin de evitar en la medida de lo posible los accidentes laborales de los operarios en las depuradoras durante la realización de las labores de mantenimiento, conservación y explotación de las instalaciones.



La zona afectada para la realización de esta mejora es la unidad decantación secundaria que, en la actualidad, dispone de un sistema de seguridad para evitar caídas a distinto nivel al interior de los mismos mediante cadena no fija de material plástico.

Con el fin de mejorar la Seguridad en el Trabajo de los operarios de la EDAR de Verín, deberían instalarse barandillas fijas de protección, a lo largo de todo el perímetro para evitar las posibles caídas al interior de los mismos.

Dicha barandilla, irá provista de un sistema extraíble que permita el acceso en caso de operaciones de mantenimiento y conservación.

5.2.2.5. Estudio económico

CONCEPTO	UNIDADES	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Barandilla de protección fija	80	150,00	12.000,00
TOTAL			12.000€

6. Implantación de un sistema de cogeneración en la EDAR de Verín

6.1.Introducción

El objetivo de las EDAR consiste en el tratamiento de las aguas residuales de las diferentes poblaciones hasta alcanzar las condiciones de vertido requeridas. La fracción sólida y buena parte de los contaminantes contenidos en el agua tratada son separados en el fango residual, cuya gestión es complicada y costosa.

Tras la obtención de los fangos producidos en la EDAR se debe decidir el camino entre la digestión anaerobia o la deshidratación mecánica y posterior secado.

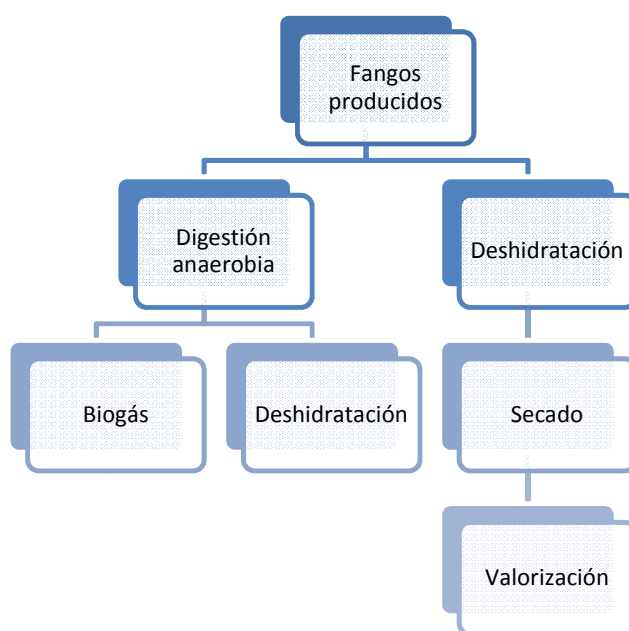


Ilustración 35: Pasos a seguir tras la digestión

Una planta de biogás es una instalación donde se mezclan los purines con materia orgánica y se realiza lo que se conoce con el nombre de codigestión anaerobia. La codigestión se basa en mezclar diferentes sustratos de forma que se acelere el ciclo natural de descomposición para después ser conducidos a los digestores. Los digestores son recipientes cerrados, sin aire exterior y con las condiciones óptimas de temperatura donde las bacterias actúan. De aquí se obtiene el biogás y subproductos que pueden ser utilizados como biofertilizantes. El biogás se utiliza como combustible en unos equipos de cogeneración que transforman el biogás en energía eléctrica y térmica de origen renovable.

En la digestión anaerobia se extrae un potencial energético en forma de gas, el cual es muy fácil y barato de valorizar, pero el fango resultante debe seguir un camino semejante al de la otra línea, con la ventaja de que el fango digerido es más fácil de procesar y desprende menos olores. La línea de deshidratado extrae del fango una importante cantidad de agua llegando a una sequedad de entre el 22-27%. [Eli 2013]

El biogás es un compuesto formado principalmente por metano (CH_4) entre un 55% - 70%, dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas proporciones de otros gases que se produce por la fermentación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Tiene características similares a las del gas natural.

6.2.Componentes

Podemos diferenciar varias partes o procesos dentro de una planta de biogás:

- Almacenamiento y acondicionamiento de sustratos
- Producción de biogás
- Aprovechamiento energético del biogás
- Digestato

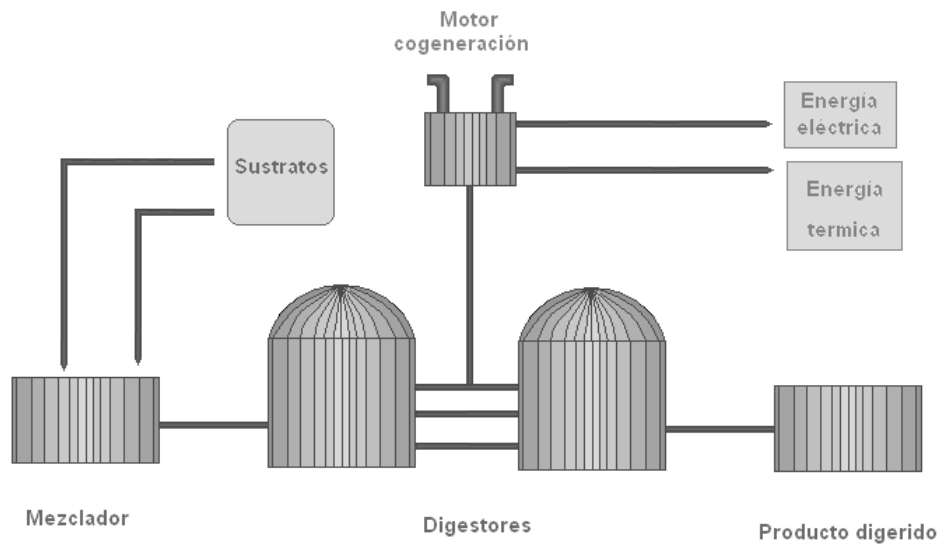


Ilustración 36: Digestión

6.2.1. Almacenamiento y acondicionamiento de sustratos

Tipos

La producción de biogás depende directamente del tipo de sustratos con que se alimenta el digestor. La procedencia de los mismos puede ser muy variada:

- Sustrato de origen animal: purín, estiércol gallinaza...
- Sustrato de origen vegetal: maíz, centeno, sorgo
- Residuos procedentes de la industria agroalimentaria: Restos de matadero, grasas, melaza.
- Residuos procedentes de pantas de tratamiento de aguas. Residuos de depuradora...

En nuestro caso utilizaremos los fangos procedentes de la depuradora y aprovecharemos la cercanía de instalaciones ganaderas para incorporar sustratos de origen animal a la codigestión. De este modo se consigue evitar los gastos en los que incurre tanto la instalación depuradora como los ganaderos derivados de la disposición de los residuos en vertederos autorizados para este tipo de vertidos (estos costes corresponden al transporte más las tasas de cada vertedero), además de revalorizar el producto como veremos más adelante.

Almacenamiento de sustratos de origen vegetal. Silos.

Los sistemas de almacenamiento sirven para equilibrar variaciones entre la demanda y la producción de biomasa. La forma y tamaño de los silos depende del tipo de biomasa y del flujo de aprovechamiento. Los silos son usados para este tipo de plantas son generalmente de hormigón aunque también se pueden utilizar otros de plástico cuando el volumen no es excesivo y se dispone de superficie suficiente.

Los sustratos vegetales se cosechan con maquinaria especializada para su posterior almacenamiento en silos, han de picarse con un tamaño de entre 6 y

10 mm para que su silaje sea óptimo y se conserven sus propiedades para la producción de biogás.

Almacenamiento de sustratos líquidos.

Purín

Uno de los principales sustratos a utilizar en una planta de biogás es el purín. El purín se traslada mediante camión cisterna a la planta de biogás y se descarga en un depósito de almacenamiento. Este puede ser de hormigón o acero. También puede ir soterrado a nivel de terreno. Generalmente son depósitos cerrados para evitar la pérdida de valor energético así como las molestias producidas por malos olores.

Generalmente están dotados de agitadores para mantener la homogeneidad del sustrato y evitar la acumulación de sólidos en la parte inferior del depósito. El purín es introducido en el sistema mediante una bomba sumergible.

Otros

Para otros líquidos se utilizarán generalmente tanques de acero, ya que generalmente, el volumen de almacenamiento no será excesivo y son más sencillos y baratos de instalar que depósitos de hormigón.

Tratamientos. Higienización.

En el caso de que se aprovechen desechos de matadero, restaurantes o mercados y de acuerdo con la normativa legal vigente se debe higienizar la biomasa antes de su alimentación al digestor. A través de este tratamiento se eliminan bacterias, parásitos y virus. Se reduce el riesgo de contaminación y transmisión de enfermedades,

La higienización se produce calentando los sustratos a 70°C durante una hora. El proceso se lleva en tanques de acero y/o hormigón. Después de la higienización hay que reducir hasta la temperatura del proceso antes de

introducir en el digestor. La energía térmica usada en la higienización procederá de la unidad de cogeneración de la propia planta.

Como nuestra planta no utiliza desechos que necesiten higienización no contara con este paso

6.2.2. Producción de biogás

Sistema de alimentación

El sistema ideal de alimentación para una digestión adecuada ha de ser continuo. Hoy en día esto se realiza de manera automática para que la mezcla sea la más adecuada para la producción de biogás.

Generalmente existe un silo más pequeño, con piso móvil, desde donde son introducidos los sustratos sólidos hasta el alimentador y otras conducciones para alimentar los sustratos líquidos.

Hay otro tipo de instalaciones que permiten una mayor homogenización en la mezcla como son los agitadores internos del alimentador, colocar una bomba de cuchillas para evitar que se introduzcan partículas de gran tamaño, tamices...

Digestor

Las posibilidades de configuración de una planta de biogás son variadas, puede tener uno o varios digestores, estos pueden ser de mezcla seca o húmeda, horizontales, de mezcla continua. El diseño final dependerá del tipo de sustratos y la potencia de diseño de la planta.

Existen dos regímenes estándar de funcionamiento de los digestores; el régimen mesófilo a unos 35°C y el régimen termófilo a unos 55°C. El régimen mesófilo es el más común. Por el contrario el régimen termófilo se usa poco en el tratamiento de fangos de EDAR. El sistema más efectivo es el mesófilo (genera más biogás en igualdad de condiciones), pero en caso de accidente las bacterias son más sensibles y difíciles de recuperar para que el sistema vuelva

a funcionar normalmente. Desde el punto de vista energético es un proceso de conversión energético eficiente ya que con muy poca energía puede generarse mucho gas combustible.



Ilustración 37: Gasómetro

Tipos de digestores

Los digestores se clasifican según el modo de operación, llenado y vaciado, pudiendo ser digestores en régimen estacionario, régimen semi continuo, horizontales y de régimen continuo. En función de la humedad del proceso los tenemos de mezcla húmeda (hasta 15% de MS) o mezcla seca ($MS > 25\%$)

Una de las variaciones consiste en realizar la digestión en dos etapas, basado en el hecho de que los distintos tipos de bacterias que intervienen en el proceso necesitan distintas condiciones de pH y tiempo de retención. Esto supone la construcción de uno o dos depósitos, en el primero se realiza una parte de la digestión anaerobia y en el segundo se lleva a cabo la acetogénesis y metanogénesis.

Componentes principales de un digestor

Los tanques para digestores se construyen sobre o bajo tierra. El suelo y las paredes de los digestores agroindustriales son de hormigón. La cubierta, generalmente, es de membrana de EPDM. La alimentación de los digestores suele realizarse por medio de bobas sumergibles. Para realizar la descarga de la mezcla ya digerida o la recirculación de la misma para estabilizar los niveles de humedad del proceso se realiza mediante rebose, se instala una tubería en la parte superior del digestor que conectara este con el tanque de almacenamiento de Digestato y/o de recirculación.

Agitadores

A través de la agitación se logra y mejor distribución de la temperatura, de los nutrientes, la eliminación de las burbujas de biogás y una mezcla del sustrato fresco de la población bacteriana existente en el digestor. Además así se evita la formación de costras sobre la superficie de la biomasa y la formación de espacios sin actividad biológica.

Sistema de calefacción

Los digestores llevarán incorporado un sistema de aislamiento de poliuretano (o similar de 4 cm de espesor para retener la mayor cantidad de calor posible. Así mismo en el interior de la pared de hormigón se distribuyen una serie de tubos de polietileno que conformaran el sistema de calefacción.

El agua caliente que circula por el interior del sistema de calefacción proviene del agua de refrigeración de la camisa del motor y de los gases de escape produciendo agua caliente por intercambio de calor en un intercambiador de placas. El circuito primario de enfriamiento de la camisa del motor es cerrado, con recirculación, para evitar la contaminación de tipo térmico y evitar un gasto innecesario de agua además de energía.

6.2.3. Acondicionamiento del biogás

Debido a su alto contenido en humedad y otros gases el biogás ha de tratarse y acondicionarse antes de su aprovechamiento en las unidades de cogeneración. A continuación se indican las características del gas que deben acondicionarse:

- Reducción de humedad
- Reducción y/o eliminación de H_2S y trazas de otros gases, purificación
- Reducción de CO_2
- Corrección, calibración y control de presión.

Reducción de humedad

Cuando el biogás sale de los digestores está saturado con el 100% de humedad. Este problema se incrementa durante el verano debido a las altas temperaturas. Entre los factores que influyen en el contenido de humedad se encuentra el tipo de biomasa y el % de MS.

Junto con el vapor de agua en la corriente de biogás viajan partículas sólidas inertes, ambos componentes son perjudiciales para el aprovechamiento de biogás, por lo cual es necesario reducir estos niveles para el correcto aprovechamiento del biogás como material energético.

Las tuberías de captación se instalarán de tal manera que los condensados fluyan de regreso al digestor o hacia puntos de descarga de condensados. La pendiente de la instalación será del 5%.

Se instalará una unidad de condensación antes del aprovechamiento de biogás en la unidad de cogeneración. Si se enfría el biogás a una temperatura entre $0^{\circ}C$ y $5^{\circ}C$ se elimina la mayor parte de la humedad.

Los motores de cogeneración de biogás tienen unos límites de humedad de entre el 70% y el 80% HR.

Reducción de H₂S

El biogás está compuesto mayoritariamente por gas metano y dióxido de carbono en proporción 55-65% a 40-45% aproximadamente y trazas de otros gases como sulfuro de hidrogeno en una proporción de 0.1-1%. Es necesaria su eliminación pese a su baja proporción debido a:

- Toxicidad del H₂S
- Corrosión de metales por la presencia de H₂S y CO₂
- En combustión puede formar SO₂ que es altamente corrosivo
- Disminución del PCI del gas
- Favorece la formación de hidratos

El método habitual para la desulfuración del biogás es la inyección de pequeños volúmenes de oxígeno en el interior de digestor. Es un proceso que se ha desarrollado de manera efectiva en los últimos 10 años y aplicando con notable éxito en la purificación de biogás en biodigestores en toda Europa.

Las bacterias oxidantes transforman el H₂S en azufre elemental, ácido sulfhídrico y agua a través del suministro de oxígeno. Durante el tratamiento el polvo de azufre se deposita sobre la biomasa y en las paredes del digestor. Este polvo de azufre puede ser utilizado como fertilizante.

El suministro de oxígeno se realiza mediante compresores. Si la dosificación es la adecuada se puede reducir hasta en un 95% la cantidad de H₂S. La cantidad de oxígeno suministrado es tan baja que no hay problemas en el interior del mismo

Reducción de CO₂

Cuando se requiera una mayor calidad y PCI del biogás (para su inyección a la red general) se puede reducir el contenido en CO₂. Este tratamiento está indicado especialmente para grandes plantas de biogás donde el gasto del sistema de purificación está ajustado. El método más simple y eficiente para la eliminación del dióxido de carbono es su absorción en agua de cal. Este método requiere una vigilancia constante, que el agua se agota y es necesario reponerla frecuentemente. Pueden utilizarse soluciones químicas aunque esta es la más económica.

En el caso de nuestra planta no se llevara a cabo este paso.

6.2.4. Aprovechamiento energético del biogás

El biogás tiene un poder energético de aproximadamente 6 KWh/m³. Este valor depende del contenido en gas metano. El biogás puede ser utilizado como combustible en la generación de energía eléctrica y en la generación de calor.

Una vez conocida la composición de biogás es posible conocer el PCI del mismo. Este dato es necesario para el cálculo de la potencia de la instalación.

Los usos más comunes del biogás son:

- Combustión directa para la producción de calor
- Motores de combustión interna con aprovechamiento de la potencia mecánica
- Motores para la generación de la energía eléctrica con o sin recuperación de calor
- Turbina de gas o vapor con aprovechamiento de la potencia eléctrica con o sin recuperación de calor
- Vehículos motorizados
- Enganche a la red de gas natural (En España no es posible)

- Producción de sustancias químicas.

En nuestro caso queremos aprovechar el biogás para producir energía eléctrica que permita reducir la dependencia de la planta de la red externa con el consiguiente ahorro económico. Se estudiarán la posibilidad de instalación de un motor de cogeneración o de micro turbinas y se decidirá cuál de los dos sistemas es más conveniente en este caso.

Generación de energía eléctrica mediante motogenerador

El biogás mezclado con aire puede ser quemado, descomponiéndose principalmente en CO_2 y H_2O .

El requerimiento de aire mínimo es del 21% pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión

Los motores a gas mecánicamente son idénticos a los motores de combustión a gasolina, la diferencia radica en la admisión del combustible. En los motores a gas, esta admisión se realiza por medio de una válvula que regula la presión con la que se inyecta el gas licuado directamente en el carburador.

Las modificaciones que se deben realizar a este motor para utilizarlo en la generación de electricidad a partir del consumo de biogás, es modificar levemente la presión de inyección del gas, para que se ajuste a las condiciones del biogás

Se recomienda que las cargas aplicadas sean constantes, para evitar los problemas de regulación del motor y por tanto una ineficiente calidad de la energía suministrado por el generador. Para el caso de cargas variables el flujo de gas hacia el motor se debe regular por medio de un sistema de control especialmente diseñado, que garantice el flujo del gas al motor para responder a las diferentes demandas de potencia generados por las cargas aplicadas.



Ilustración 38: Motor cogeneración

Las principales características de un motor de biogás que genere energía eléctrica son las siguientes:

- Larga vida útil operando a plena carga
- Excelente grado de eficiencia
- Operación y mantenimiento sencillos
- Rápida disponibilidad de repuestos
- Bajo nivel de ruido y emisiones
- Enfriamiento por agua para que esta sea aprovechada para otros fines
- Que no contenga materiales corrosibles.

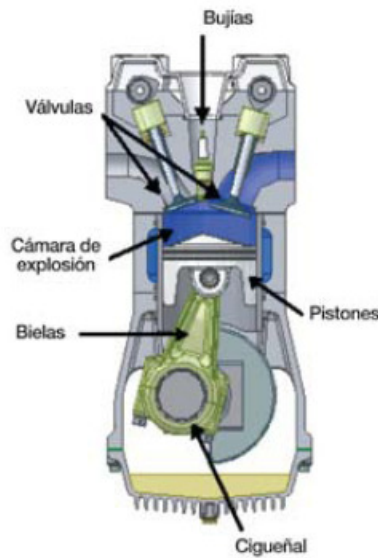


Ilustración 39: Esquema funcionamiento motor cogeneración

La recuperación de parte del calor de combustión procede del agua de refrigeración de la camisa del motor y de los gases de escape, produciéndose agua caliente por intercambio de calor en un cambiador dual. La temperatura de salida es de entre 70-90 °C

Generación de energía eléctrica mediante microturbina

Las micro turbinas de gas son máquinas de combustión basadas en el mismo principio que las turbinas convencionales pero simplificando los elementos mecánicos.

Las turbinas para generación de energía, constan habitualmente de un compresor de aire de varias etapas, una cámara de combustión y varias etapas de turbina en las que se absorbe toda la energía de los gases de escape. El movimiento de las turbinas de generación (usadas habitualmente en centrales de cogeneración) está entre las 15.000 y las 20.000 revoluciones. Para poder realizar el acoplamiento a un generador, se usa un reductor mecánico que ajusta la velocidad a unas 1.500 rpm.

Las micro turbinas simplifican todos estos elementos quedando únicamente una pieza móvil en toda la máquina. Esta pieza móvil contiene la única etapa de compresor, la única etapa de turbina y el eje del alternador. El conjunto gira sobre unos cojinetes de aire que permiten alcanzar las 96.000 rpm. Para poder adaptar la corriente generada a una corriente alterna de 50 Hz útil, se utiliza electrónica de potencia. Se genera corriente alterna a frecuencia variable, se convierte a corriente continua y, mediante un inversor, se vuelve a convertir en corriente alterna. De este modo, el movimiento de la máquina es independiente de la frecuencia de la red y, podemos decir que la máquina está permanentemente sincronizada. Esta sincronización permanente o este acoplamiento por inversor, facilita la conexión de las micro turbinas tanto a las redes de baja tensión de los centros consumidores como a los cuadros de conexión a la red. No es necesario ningún elemento intermedio, la micro turbina conecta directamente y sincroniza al conectarla a un cuadro de baja tensión.

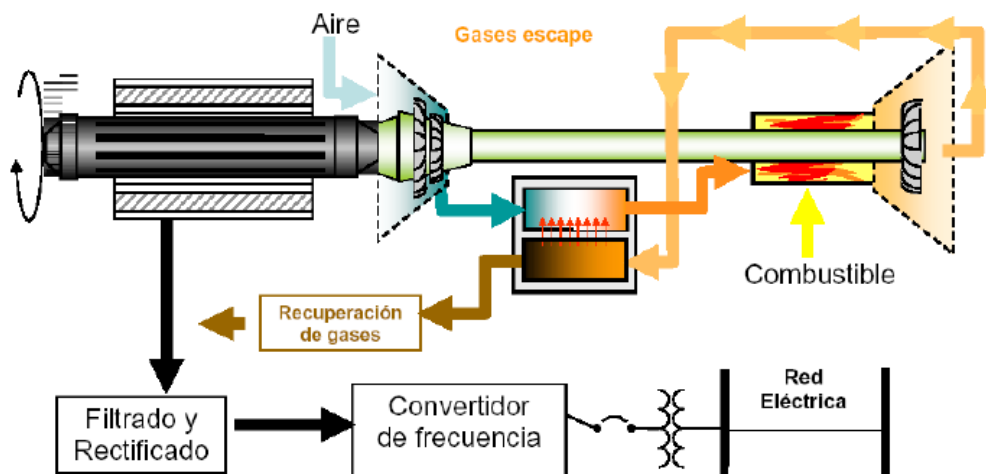


Ilustración 40: Esquema funcionamiento microturbina

En el inversor, las microturbinas ya disponen de las protecciones eléctricas de baja tensión y el hecho que la máquina pueda girar a diferentes revoluciones sin perder el sincronismo, hace la conexión muy sencilla y fiable. A pesar de la reducción en la temperatura de los gases de escape al pasar por el recuperador

de calor, todavía nos queda más del 50% de la potencia térmica del combustible en forma de calor aprovechable a unos 300 °C. Disponer de todo el calor a esta temperatura y en forma de gases, facilita también su recuperación y aplicaciones frente a los motores alternativos.

Las emisiones generadas por microturbinas regenerativas permiten reducir en torno a 1000 toneladas de CO₂ por GWh de energía eléctrica generada comparado con la generación separada de calor y electricidad por sistemas convencionales.

En resumen las microturbinas se adaptan perfectamente a los combustibles no convencionales como el biogás y permiten mantener una elevada eficiencia energética a cargas parciales. Esto se debe a la capacidad de una microturbina de mantener el 85% del rendimiento eléctrico cuando trabaja solo al 50% de su carga y a la modularidad que supone instalar varias turbinas que pueden arrancar y parar en función de la cantidad de biogás, a un solo motor de mayor tamaño que tendrá muchos problemas para seguir en funcionamiento a bajas cargas parciales.

6.2.5. Otras instalaciones

Se debe incorporar a las instalaciones un quemador para el gas en exceso.

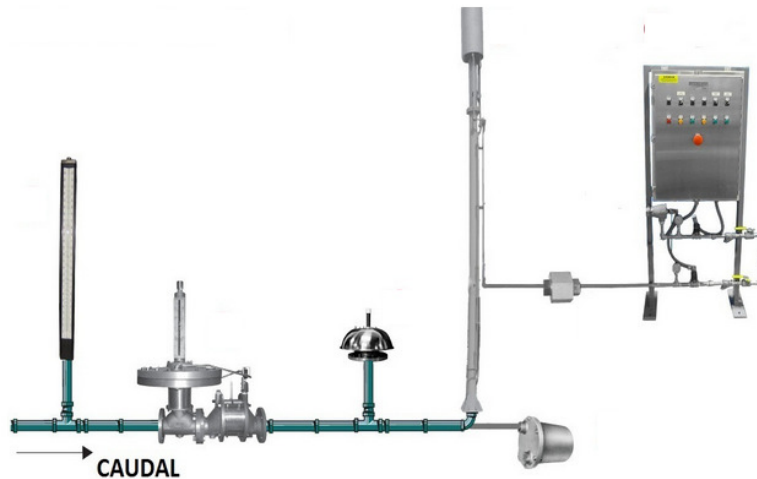


Ilustración 41: Quemador gas en exceso

6.2.6. Digestato

Como subproducto de la digestión anaerobia se obtienen dos productos aprovechables en biogás del que hemos hablado anteriormente y el Digestato. El residuo orgánico que se descarga del biodigestor obtenido en los procesos de digestión anaerobia es un lodo de consistencia fluida

6.3.Caso particular de la EDAR de Verín

Sustrato utilizado

En primer lugar para el cálculo de la estación de cogeneración que queremos implantar en la EDAR de vemos conocer los tipos de sustrato que vamos a emplear para la adición a la mezcla.

En primer lugar, como uno de los principales objetivos de la instalación de un sistema de cogeneración es la valorización de los lodos de la EDAR, además del ahorro energético, calcularemos la cantidad de los mismos que se producen en la planta tras las mejoras proyectadas en los puntos anteriores. Partiendo de los siguientes datos calcularemos los fangos en exceso producidos en las balsas de tratamiento biológico

- **Concentración de sólidos a la salida del biológico** = 30 (mg/l)
- **Concentración de DBO₅ a la salida del biológico** = 25 (mg/l)
- **Concentración de sólidos a la entrada del biológico** = 249.45 (mg/l)
- **Concentración DBO₅ a la entrada del biológico** = 253,00 (mg/l)
- **MLSS**=4000,00 (mg/l)
- **CM**=0.13 (Kg DBO₅/KgMLSS d)

$$\text{Fangos producidos} = 1.2 \cdot CM^{0.23} + 0.5 \left(\frac{\text{Concentración SS a la entrada}}{\text{Concentración DBO}_5 \text{ a la entrada}} - 0.6 \right) *$$

$$\text{Rendimiento DBO}_5 \cdot Kg \frac{DBO_5}{\text{día}} = 1742,5 \text{ Kg SS/día}$$

Además de los fangos producidos en las balsas de tratamiento biológico también se producirá un exceso de fangos en los decantadores secundarios, que se unirán a los fangos anteriormente calculados y a los sustratos externos que añadiremos para la cogeneración.

- **Eliminación de salidos en suspensión = 70 %**
- **Eliminación DBO5= 33 %**
- **Concentración sólidos en suspensión a la entrada de la decantación= 30 mg/l**
- **Concentración DBO a la entrada de la decantación= 25mg/l**
- **Concentración del fango decantado= 15Kg/m³**
-

Fangos producidos

$$= \frac{\text{Caudal} \cdot \% \text{ Eliminación SS} \cdot \text{Concentración SS entrada}}{1000} \cdot 24$$
$$= 171 \text{ Kg SS/día}$$

Lo que supone un total de 1913 Kg SS/ día

La planta está situada en una zona de con una amplia industria porcina, lo que supone una gran cantidad de desechos que deben ser gestionados por los ganaderos que en muchas ocasiones supone un problema de olores en las inmediaciones de las granjas, además de los costes derivados de su correcta gestión. Además los estudios indican que las sinergias producidas entre los fangos de las depuradoras y el estiércol mejoran los rendimientos de la cogeneración.

Para cálculos posteriores hemos supuesto el uso de 4000 Kg/día de sólidos contenidos en desechos ganadería. Estos sustratos se adquirirán a productores locales.

Calculo de digestores

Partiendo de los datos que se muestran a continuación se calcularán las características de los digestores que se deberán emplear en la cogeneración, en la planta depuradora de Verín, así como los valores esperados de gas producido y energía disponible.

- **Tiempo de retención del digestor primario** = 20 días
- **Altura cilíndrica útil del digestor primario** = 8 m
- **Altura del fondo cónico del digestor primario** = 8 m
- **Nº de digestores primarios** = 1 Ud.
- **Sólidos volátiles contenidos en el fango sin digerir** = 60 %
- **Reducción de volátiles esperada** = 42 %
- **Caudal de fangos secundarios** = 5.3 m³/h
- **Caudal de desechos ganadería** = 6 m³/h
- **Sólidos contenidos en los fangos** = 1913 Kg/día
- **Sólidos contenidos en desechos ganadería** = 4000 Kg/día
- **Tiempo de retención en el digestor secundario** = 5días
- **Altura cilíndrica útil del digestor secundario** = 8 m
- **Altura del fondo cónico del digestor secundario** = 2 m
- **Nº digestores secundarios**= 1 Ud.

- **Riqueza metano = 66 %**
- **PCI = 8700 Kcal/m³.**

Estos datos son el resultado de los cálculos realizados a partir de los datos de la depuradora o a partir de los valores típicos conocidos de los fangos. Para una mayor exactitud en algunos de ellos, como en el caso del % de sólidos volátiles en el fango sin digerir, Deberían realizarse estudios y pruebas específicas que los determinen.

$$\text{Caudal de fangos sin digerir} = \text{fangos ganadería} + \text{fangos EDAR}$$

$$\text{Caudal de fangos sin digerir} = 1.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Sólidos contenidos en los fangos sin digerir} = \text{Sólidos contenidos en fangos ganadería} + \text{sólidos contenidos fangos EDAR}$$

$$\text{Sólidos contenidos en los fangos sin digerir} = 5.912,65 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Concentración de los fangos a digerir} = \frac{\frac{\text{Sólidos en fangos sin digerir}}{24}}{\text{Caudal de fangos sin digerir}}$$

$$\text{Concentración de los fangos a digerir} = 21,80 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Sólidos volátiles contenidos en los fangos a digerir}$$

$$= \frac{\text{Sólidos contenidos en los fangos sin digerir} \cdot \text{Sólidos volátiles contenidos en el fango sin digerir}}{100}$$

$$\text{Sólidos volátiles contenidos en los fangos a digerir} = 3.547,59 \text{ Kg/día}$$

Volumen total digestores primarios

$$= \text{Tiempo de retención del digestor primario} \\ \cdot \text{Caudal diario de fangos a digerir}$$

$$\text{Volumen total digestores primarios} = 5.424,00 \text{ m}^3$$

Diámetro interno del digestor primario

$$= \frac{\text{Volumen digestores primarios}}{\frac{\pi \cdot \text{Altura cilíndrica útil digestor primario}}{4} + \frac{\text{Altura fondo cónico digestor primario} \cdot \pi}{12}}$$

$$\text{Diámetro interno del digestor primario} = 40.6 \text{ m}$$

Carga de sólidos volátiles

$$= \frac{\text{Sólidos contenidos en fangos sin digerir} \cdot \frac{\text{Sólidos volátiles contenidos en fango sin digerir}}{100}}{\text{Volumen total digestores primarios}}$$

$$\text{Carga de sólidos volátiles} = 0.65 \text{ Kg/m}^3\text{día}$$

Volumen total digestores secundarios

$$= \text{Tiempo de retención del digestor secundario} \\ \cdot \text{Caudal diario de fangos a digerir}$$

$$\text{Volumen total digestores secundarios} = 1356 \text{ m}^3$$

Diámetro interno del digestor secundario

$$= \frac{\text{Volumen digestores secundarios}}{\frac{\pi \cdot \text{Altura cilíndrica útil digestor secundario}}{4} + \frac{\text{Altura fondo cónico digestor secundario} \cdot \pi}{12}}$$

$$\text{Diámetro interno del digestor secundario} = 20.3 \text{ m}$$

Carga de sólidos volátiles en digestores 1º y 2º

$$= \frac{\text{Sólidos contenidos en fango sin digerir} \cdot \frac{\text{Sólidos volátiles contenidos en fango sin digerir}}{100}}{\text{Volumen total digestores primarios} + \text{Volumen total digestores secundarios}}$$

$$\text{Carga de sólidos volátiles en digestores 1º y 2º} = 0.52 \text{ Kg/m}^3 \text{ día}$$

Gas producido en digestión

$$= 0,9 \cdot \text{Sólidos volátiles contenidos en los fangos a digerir} \cdot \frac{\text{Reducción de volátiles esperada}}{100}$$

$$\text{Gas producido en digestión} = 1340.99 \text{ m}^3/\text{día}$$

Sólidos contenidos en fangos digeridos

$$\begin{aligned} &= \text{Sólidos volátiles contenidos en los fangos a digerir} \cdot \left(1 - \frac{\text{Reducción de volátiles esperada}}{100}\right) \\ &+ \text{Sólidos contenidos en los fangos sin digerir} \\ &- \text{Sólidos volátiles contenidos en los fangos a digerir} \end{aligned}$$

$$\text{Sólidos contenidos en fangos digeridos} = 4422.66 \text{ Kg/día}$$

Sólidos volátiles contenidos en fangos digeridos

$$= \text{Sólidos volátiles contenidos en los fangos a digerir} \cdot \left(1 - \frac{\text{Reducción de volátiles esperada}}{100}\right)$$

$$\text{Sólidos volátiles contenidos en fangos digeridos} = 3359.57 \text{ Kg/día}$$

Concentración de los fangos digeridos

$$= \frac{\text{Sólidos contenidos en fangos digeridos}}{\text{Caudal diario de fangos a digerir}}$$

$$\text{Concentración de los fangos digeridos} = 16.31 \text{ Kg/m}^3$$

Tiempo de retención de sólidos

$$= \frac{(\text{Volumen dig. primarios} + \text{Volumen dig. secundarios}) \cdot \text{Concentración fangos digeridos}}{\text{Sólidos contenidos en fangos digeridos}}$$

$$\text{Tiempo de retención de sólidos} = 25 \text{ días}$$

$$\text{Energía disponible} = \frac{PCI \cdot \text{Riqueza metano} \cdot \text{gas producido}}{860}$$

$$\text{Energía disponible} = 8.953,44 \text{ KWh/día}$$

Calculo de deshidratación

Para llevar a cabo la deshidratación de los lodos que se obtienen como Digestato en el paso anterior utilizaremos la tecnología que se encuentra actualmente instalado en la planta.

Suponemos que las centrifugas funcionan 5 días a la semana durante 8 horas cada día.

Caudal de fangos a tratar = 271 m³ /día.

Concentración de sólidos del fango alimentado = 16,31 Kg/ m³

Concentración de sólidos en fango deshidratado = 220 Kg/ m³

Densidad de sólidos en fango = 1,5 Kg/l

Caudal de fangos alimentados por centrifuga = 56

Relación longitud /diámetro rotor = 3

De donde obtenemos:

Caudal de fango a filtrar

$$= \frac{\text{Caudal de fangos a filtrar} * 7}{\text{Días de funcionamiento semanal} * \text{horas de funcionamiento diario}}$$

$$\text{Caudal de fango a filtrar} = 47.4 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Caudal de fangos alimentados por centrifuga} = \frac{\text{Caudal de fango a filtrar}}{N^{\circ} \text{ de centrifugas}}$$

$$\text{Caudal de fangos alimentados por centrifuga} = 47.4 \frac{m^3}{h}$$

Sólidos alimentados por centrifuga

= Caudal de fango filtrar

** Concentración de solidos en el fango alimentado*

$$\text{Sólidos alimentados por centrifuga} = 773 \frac{Kg}{h}$$

Caudal másico de fangos alimentados por centrifuga =

$$\frac{\text{Caudal de fangos alimentados por centrifuga}}{1000} + (\text{Caudal de fango a filtrar} -$$

$$\frac{\text{Caudal de fangos alimentados por centrifuga}}{\text{Densidadde solidos contenidos en el fango}} \frac{1000}{1000}$$

$$\text{Caudal másico de fangos alimentados por centrifuga} = 47.7 \frac{tn}{h}$$

Densidad del fango alimentado a la centrifuga

$$= \frac{\text{Sólidos alimentados por centrifuga}}{\text{Caudal de fangos alimentados por centrifuga}}$$

$$\text{Densidad del fango alimentado a la centrifuga} = 1 \frac{\text{Kg}}{\text{l}}$$

Densidad del fango deshidratado

$$= \frac{\text{Concentración de solidos en el fango deshidratado}}{1000} + 1$$
$$= \frac{\text{Concentración de solidos en el fango deshidratado}}{1000} - \frac{\text{Densidad de los solidos contenidos en el fango}}$$

$$\text{Densidad del fango deshidratado} = 1.07 \frac{\text{Kg}}{\text{l}}$$

Volumen de fango deshidratado por hora

$$= \frac{\text{Solidos alimentados por centrifuga}}{\text{Concentración de solidos en fango deshidratado}}$$
$$* n^{\circ} \text{ centrifugas}$$

$$\text{Volumen de fango deshidratado por hora} = 3.5 \text{ m}^3$$

Volumen de fango deshidratado semanal

$$= \text{Volumen de fango deshidratado por hora}$$
$$* \text{horas semanales de funcionamiento}$$

$$\text{Volumen de fango deshidratado semanal} = 40.6 \text{ m}^3$$

Potencia unitaria aproximada

$$= 0.15$$

$$* \frac{\text{Caudal de fangos a filtrar}}{24}$$
$$* \text{Capacidad especifica de la centrifuga} * n^{\circ} \text{ centrifugas}$$
$$* 1000$$

$$\text{Potencia unitaria aproximada} = 30,24 \text{ CV}$$

6.4.Alternativas: Motogenerador VS. Microturbina

Las tecnologías a considerar para esta cogeneración a partir de biogás, son, los moto generadores y las micro turbinas. En este estudio hemos seleccionado el moto generador y la micro turbina que mejor se adaptan a la EDAR de Verín, para analizar la alternativa más adecuada.

Las principales diferencias entre ambas son:

- El moto generador genera más electricidad, dado que el rendimiento eléctrico de los moto generadores es más elevado que el de las turbinas, por tanto el ahorro en de electricidad es mayor proporcionalmente.
- Las turbinas resultan más flexibles a la hora de trabajar con cargas parciales, en los momentos que disminuya el aporte de biogás. En el caso de instalar un moto generador se puede optar por acumular el gas en los gasómetros y producir cuando sea más conveniente.
- El calor recuperado en ambas tecnologías es muy similar en cuanto a kW, no así en cuanto a temperatura.
- La disponibilidad de las turbinas es superior a la del motor.
- La tolerancia a ciertos componentes del biogás es superior en el caso de las turbinas.

6.4.1. Alternativa 1 Moto generador

Los moto generadores son uno de los tipos de sistemas más utilizados a la hora de obtener energía eléctrica a partir de biogás en las plantas de cogeneración. Al igual que sucede en el caso de los moto generadores que utilizan otro tipo de combustibles como los moto generadores diesel, los moto generadores de biogás se encargan de transformar la energía mecánica producida por la combustión del biogás en energía eléctrica.

Debemos tener en cuenta a la hora de realizar nuestros cálculos que no toda la energía disponible en el combustible terminara por transformarse en energía eléctrica. Suponemos que un 85% de la energía disponible en el combustible es recuperable y el 15% se pierde. A grandes rasgos podemos decir que:

- El **42%** de la energía disponible se transformara en **energía eléctrica**
- El **21%** de la energía disponible se traspasa al agua de refrigeración generando **vapor de agua** que posteriormente se recirculara por los intercambiadores de calor instalados en el sistema de cogeneración, reduciendo así el gasto energético producido en el calentamiento de fangos.
- El **14%** de la energía produce **agua caliente a alta temperatura** que se recirculara para compensar los gastos energéticos producidos en la planta
- El **8%** de la energía disponible se utiliza para calentar agua a **baja temperatura** al igual que en los casos anteriores este calor se utilizara en los intercambiadores de calor para reducir el gasto energético que se produce en la planta.
- El **3%** de la energía disponible se disipa en **perdidas por conducción/convección del motor**
- El 11% de la energía de disipa por perdidas en la chimenea

- El 1% de la energía se disipa en **perdidas por conducción/convección en la caldera y conductos.**

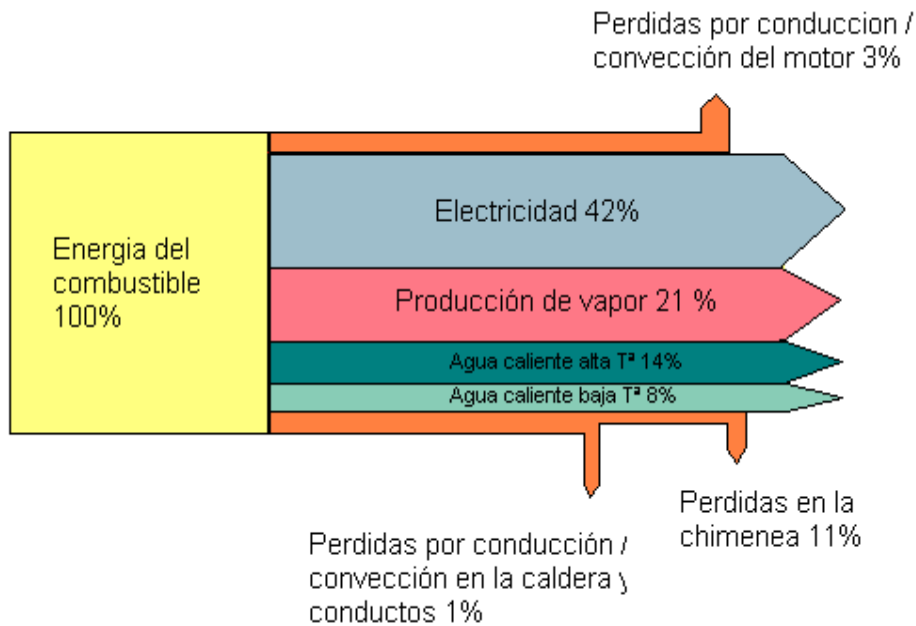


Ilustración 42: Balance energía motogenerador

Energía eléctrica generada por el motor

$$= \text{Energía eléctrica disponible} \cdot 0.42$$

$$\text{Energía eléctrica generada por el motor} = 3760 \text{ (KWh/día)}$$

$$\text{Ahorro energético anual} = \text{Energía eléctrica generada por el motor} \cdot 365$$

$$\text{Ahorro energético anual} = 1.372.561,60 \text{ (KWh)}$$

Suponiendo un coste de 0.11 KWh:

$$\text{Ahorro económico anual} = \text{Ahorro energético anual} \cdot 0.11$$

$$\text{Ahorro económico anual} = 150.982 \text{ €/año}$$

Para la producción de electricidad se utilizara un moto generador de gas ABB o similar que tendrá un coste:

$$\text{Coste motor} = 554.803 \text{ (€)}$$

Consideramos que el coste de mantenimiento anual del motor es equivalente al 10% de su precio de compra

$$\text{Coste mantenimiento} = 55.480 \text{ €/año}$$

6.4.2. Alternativa 2 Micro turbina

El modo de funcionamiento de una micro turbina, no difiere demasiado de el de una turbina convencional. La diferencia reside en contar con un ciclo de recuperación que mejora el rendimiento eléctrico.

Este proceso enfría los gases de escape pero su su temperatura de alrededor de 300°C aun permite una recuperación térmica útil para los procesos de cogeneración.

De este modo podemos resumir que la energía disponible en una micro turbina se distribuye de la siguiente manera:

- El **30%** de la energía disponible se transformara en **energía eléctrica**
- El **55%** de la energía disponible se traspasa al agua de refrigeración generando **calor** que posteriormente se recirculara por los intercambiadores de calor instalados en el sistema de cogeneración, reduciendo así el gasto energético producido en el calentamiento de fangos.
- El **3%** de la energía disponible se disipa en **perdidas en la turbina de gas**
- El **11%** de la energía de disipa por pérdidas en la **chimenea**
- El **1%** de la energía se disipa en **perdidas por conducción/convección en la caldera y conductos.**

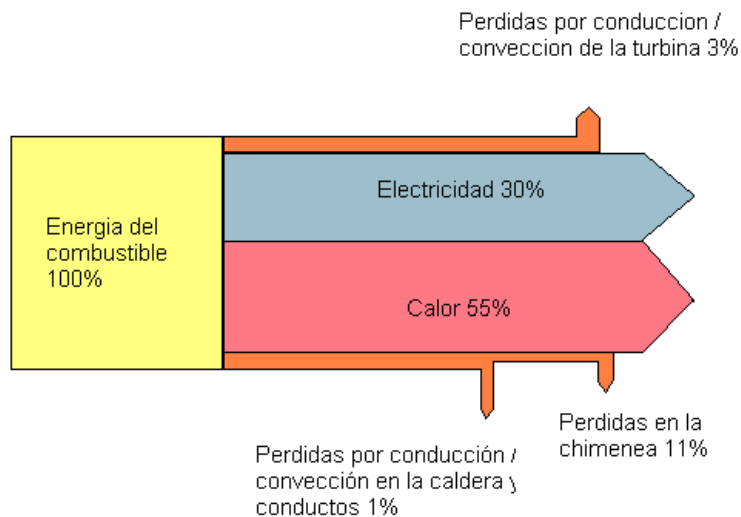


Ilustración 43: balance energía microturbina

Donde existen más diferencias es en la transformación de energía mecánica en energía eléctrica. En este caso no existe una transmisión mecánica que haga funcionar el alternador a 50 Hz, si no que funciona a velocidad variable y la conversión es por electrónica de potencia.

Gracias al proceso regenerativo las microturbinas tienen rendimientos parecidos al de las turbinas de potencias 100 veces superiores.

En general las turbinas presentan las siguientes ventajas.

- Trabajan con gases con un contenido en H_2S de hasta el 7%.
- Contenido en CH_4 de hasta 30%
- Emisiones de NO_x de 9ppm
- Mantenimiento con biogás cada 8000 h
- Recomendable en climas fríos
- Ausencia de líquidos lubricantes y refrigerantes

Energía eléctrica generada por la microturbina

$$= \text{Energía eléctrica disponible} \cdot 0.30$$

Energía eléctrica generada por la microturbina = 2686,03(KWh/día)

Ahorro energético anual = *Energía eléctrica generada por el motor* · 365

Ahorro energético anual = 980.401,14 (KWh)

Suponiendo un coste de 0.11 KWh:

$$\textit{Ahorro económico anual} = \textit{Ahorro energético anual} \cdot 0.11$$

$$\textit{Ahorro económico anual} = 107.844 \text{ €/año}$$

Para la producción de electricidad se utilizara una micro turbina de gas ABB o similar que tendrá un coste:

$$\text{Coste micro turbina} = 184.010 \text{ (€)}$$

Consideramos que el coste de mantenimiento anual del motor es equivalente al 10% de su precio de compra

$$\text{Coste mantenimiento} = 18.401 \text{ €/año}$$

6.5. Estudio de viabilidad económica

Para tomar una decisión razonada sobre la elección entre microturbina y moto generador, además de los datos expuestos en puntos anteriores, realizaremos un estudio de viabilidad económica de cada una de las alternativas.

En primer lugar se tendrá en cuenta la inversión inicial realizada que será común a ambos casos (el sistema de producción de electricidad se considerara por separado).

Para el cálculo de esta inversión inicial se consideraran tanto los gastos derivados de la compra de los equipos como de su instalación y montaje

Concepto	Ud.	Coste unitario	Coste Total
Agitador arqueta mezcla de fangos	1	24.916	24.916
Bomba de alimentación de digestores	1	18.510	18.510
Digestor primario	1	280.000	280.000
Agitador digestor primario	1	24.916	24.916
Compresor agitación digestor	1	12.000	12.000
Digestor	1	280.000	280.000

Concepto	Ud.	Coste unitario	Coste Total
secundario			
Soplantes gas de digestión a consumidores	1	20.000	20.000
Cambiador de calor gas de soplante – agua fría	1	16.000	16.000
Antorcha de gas residual	1	37.600	37.600
Gasómetro a presión	1	200.000	200.000
Caldera	1	80.000	80.000
Cambiador de calor Vapor – Agua caliente	1	16.000	16.000
Cambiador de calor agua caliente – Fangos digestión	1	16.000	16.000
Bombas circuito de vapor	1	20.000	20.000
Bombas circuito de agua caliente	1	20.000	20.000

Concepto	Ud.	Coste unitario	Coste Total
Sistema de almacenamiento y dosificación de ClFe a digestión	1	176.000	176.000
Bombas trasvase de fangos	1	1.600	1.600
Mano de obra	1	4.160	4.160
TOTAL			1.247.702

Tabla 42: Inversión cogeneración

A continuación necesitamos tener en cuenta los gastos derivados de la adquisición de fangos agrícolas a los productores locales. Se debe tener en cuenta que debido a los peligros que puede ocasionar para la salud pública el uso de fertilizante porcino que no ha recibido un tratamiento previo en la mayoría de las ocasiones estos desechos suponen para los ganaderos un coste añadido a su actividad ya que deben pagar por su traslado a vertederos autorizados. Por ello hemos calculado el coste de los fangos como el coste que supondría su traslado desde los puntos de producción hasta la planta.

Si calculamos que necesitaremos aproximadamente 42048 m³ de fangos anuales y su traslado nos costará una media de 0.02 € el m³ incurriremos en un gasto anual de aproximadamente 841 €

Una vez finalizada la digestión de fangos, como hemos visto anteriormente, se procederá al secado de los mismos. Los fangos digeridos pueden ser utilizados en agricultura ya que el proceso de digestión elimina tanto los componentes dañinos para la salud, que podrían contener en un primer momento como los olores que los fangos que no han sido digeridos desprenden, al mismo tiempo que mantienen el contenido en nutrientes, lo que los convierte en un abono de gran calidad. Estos abonos serán vendidos a los agricultores locales, en función de los precios de mercado se ha estimado un precio de venta de 0.20 €/m³. Por

ello se calcula un beneficio anual derivado de la valorización de los lodos de aproximadamente 1560€.

Por último debemos valorar por separado los costes y ahorros producidos por cada tecnología.

Moto generador:

Coste de adquisición del sistema de moto generación = **554.803 (€)**

Coste de mantenimiento del sistema de moto generación = **55.480 €/año**

Ahorro energético con el sistema de moto generación = **1.372.561.6 (KWh)**

Ahorro económico derivado del ahorro de energía eléctrica con el sistema de moto generación=**150.982 (€/año)**

Si analizamos gráficamente la evolución de la amortización de la inversión a lo largo de la vida útil del sistema observamos que el breack point se sitúa en los 18.

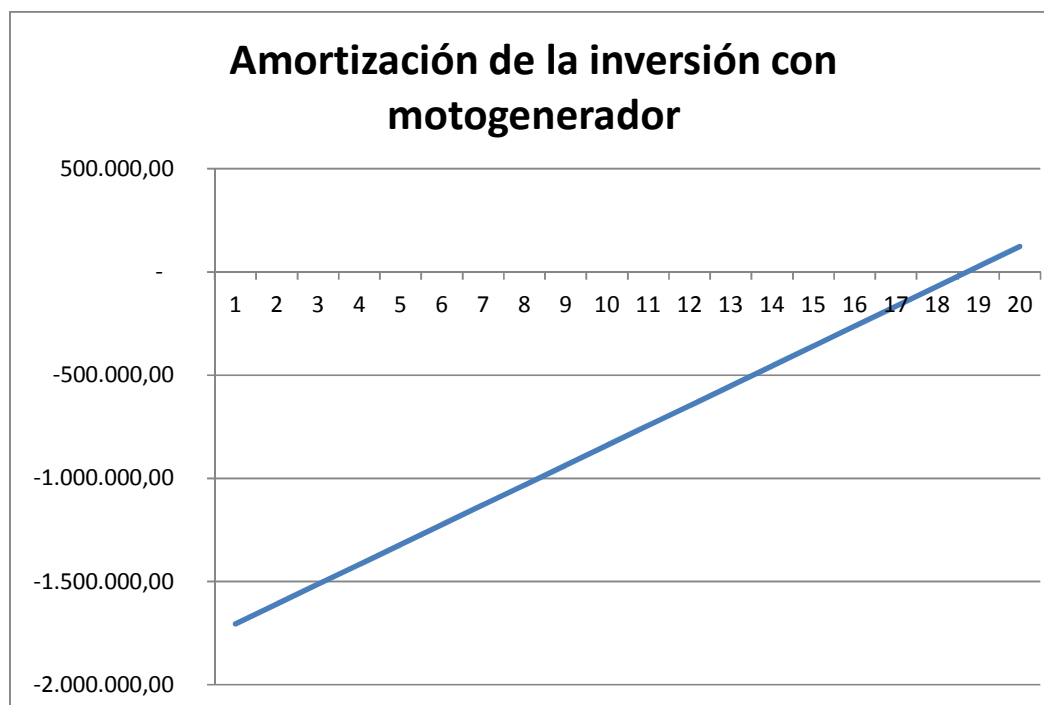


Ilustración 44: Amortización inversión con motogenerador

Micro turbina:

Coste de adquisición del sistema de micro turbina = **184.010 (€)**

Coste de mantenimiento del sistema de micro turbina = **18.401 €/año**

Ahorro energético con el sistema de micro turbina = **980.401,14 (KWh)**

Ahorro económico derivado del ahorro de energía eléctrica con el sistema de micro turbina = **107.844 €/año**

Si analizamos gráficamente la evolución de la amortización de la inversión a lo largo de la vida útil del sistema observamos que el breack point se sitúa en los 15.25 años.

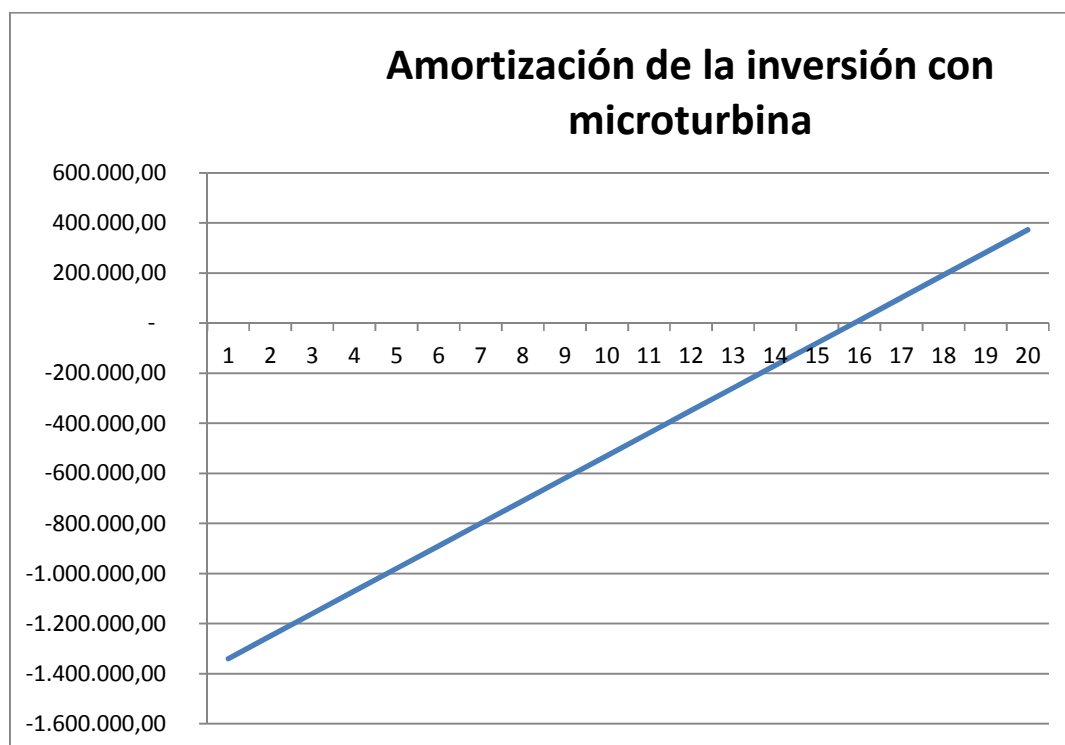


Ilustración 45: Amortización inversión con microturbina

6.6.Conclusiones.

Si analizamos el problema desde un punto de vista económico observamos que resulta más atractivo el uso de las micro turbinas ya que recuperamos más rápidamente la inversión realizada. La elección de esta tecnología nos permitiría una mayor capacidad de maniobra económicamente hablando, a la hora de realizar nuevas obras de mejora en la planta.

A continuación se presenta los gráficos relativos al retorno de la inversión de ambas tecnologías para apreciar más claramente las diferencias a las que nos estamos refiriendo:

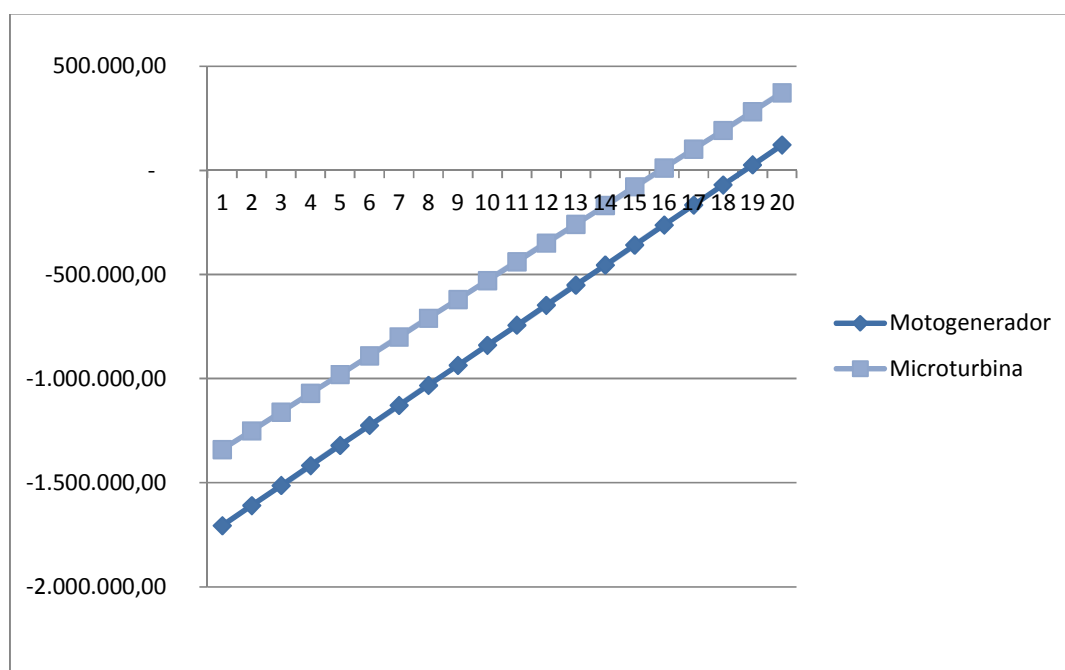


Ilustración 46: Comparación de la inversión motogenerador vs. microturbina

Sin embargo si analizamos el ahorro energético acumulado a lo largo de la vida útil del sistema observamos que los moto generador, gracias al mayor rendimiento de los mismos, proporciona mayores ahorros y por tanto reduce en mayor medida el impacto medioambiental que las micro turbinas funcionando bajo las condiciones.

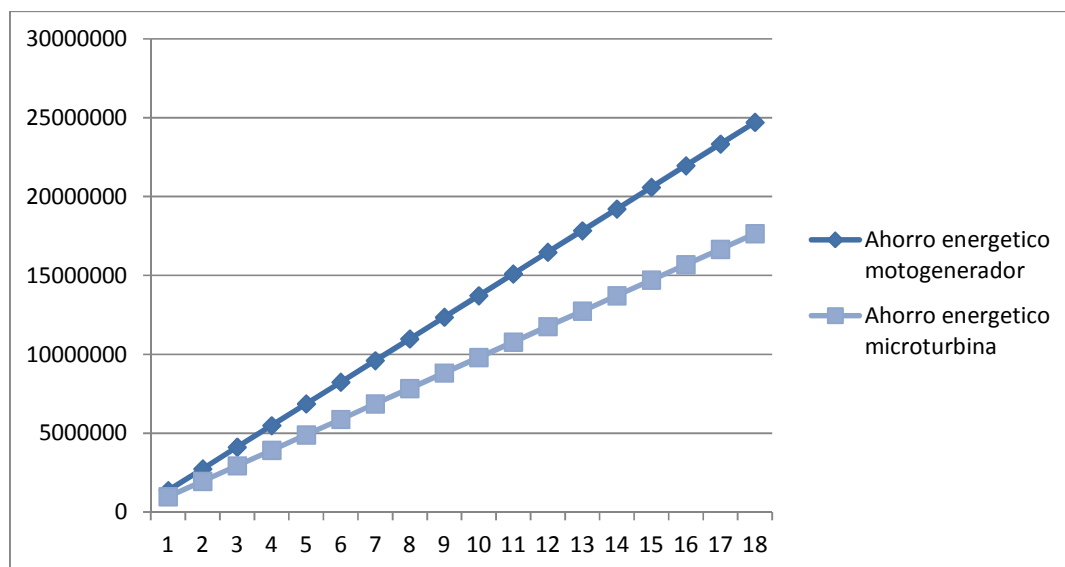


Ilustración 47: comparación ahorro energético motogenerador vs. microturbina

Después de analizar los pros y los contras de las diferentes tecnologías, en el caso de la EDAR de Verín deberíamos decantarnos por la instalación de un sistema de cogeneración mediante micro turbinas.

7. Conclusiones

Tras la finalización del proyecto se han logrado los distintos objetivos marcados en un al comienzo, e incluso se han superado y actualizado al observar las posibilidades que pueden tener las distintas alternativas.

Existen una gran variedad de tratamientos para mejorar las condiciones del agua y es necesario determinar cuáles de estos tratamientos son más adecuados para el uso final del agua, ya que una mayor pureza requiere, por lo general, un mayor consumo energético.

A la hora de seleccionar los tratamientos es de gran importancia tener en cuenta los residuos que generarán dichos tratamientos, ya que de nada servirá purificar una pequeña fracción de agua si a cambio se contamina de forma importante una gran cantidad.

En este proyecto se han analizado los distintos tratamientos de agua que se aplican actualmente.

El planteamiento inicial del proyecto fue el tratamiento de aguas residuales en la planta depuradora de aguas residuales de Verín cuyo efluente contenía una carga de contaminantes superior a la recomendable para mantener la biodiversidad en el Río Tamega donde producía sus vertidos. Por lo tanto se analizo el estado de la depuradora para conocer los puntos en que se producían los fallos de la depuración para posteriormente solventarlos mediante la propuesta de mejoras que optimizaban el sistema técnica y económicamente.

Otro de los objetivos iniciales del proyecto era conseguir una gestión más eficiente de los residuos producidos en la depuradora por medio de su valorización. Este aprovechamiento de los residuos se ha conseguido mediante dos vías. En primer lugar se ha aprovechado el potencial energético de los lodos gracias al biogás producido en la digestión de los mismos, permitiendo a la planta reducir su consumo energético externo, utilizando en su lugar energía procedente de una fuente renovable situada en la propia planta. En segundo lugar con la digestión y posterior secado de los fangos se ha producido un abono de alta calidad que puede ser aprovechado por la industria agrícola local evitando los problemas de olores que los fangos sin digerir pueden producir.

8. Trabajos futuros

En la actualidad la depuradora de Verín da servicio a una población creciente, de modo que es previsible que en unos años su capacidad resulte insuficiente para tratar todos los desechos producidos, por ello a medio plazo debería plantearse un estudio sobre la ampliación de la planta existente para adecuarla a las necesidades futuras.

Como se ha apuntado a lo largo del proyecto la aireación en la planta supone entre en 50 y un 70 % de las necesidades energéticas de la misma. Podría estudiar la posibilidad de sustituir las soplantes instaladas actualmente por soplantes de levitación magnética, más eficientes, que reducirían el gasto producido en las balsas de tratamiento biológico.

Desde el punto de vista de la cogeneración hemos apuntado la existencia de sinergias entre los sustratos aportados a la misma, que permiten afirmar que la el gas producido por cada uno de los sustratos al combinarlos es mayor que la suma del gas que produciría cada uno de ellos de ser tratado por separado. Para la realización de este proyecto se ha tomado como base de cálculo este último dato. Para que esta implementación se llevase a cabo debería realizarse una caracterización del fango de la depuradora y de manera empírica realizar un estudio de su respuesta ante distintos sustratos aportados y sus proporciones para dar con la mezcla optima para el caso que nos ocupa.

Por último ha de tenerse en cuenta que la planta gasta una gran cantidad de agua para su mantenimiento. Debería estudiarse la posibilidad de utilizar el agua tratada en la misma para cubrir las necesidades de agua no potable que puedan surgir. Para ello debería realizarse un análisis del efluente apra garantizar que cumple con las características fijadas en el Real Decreto 1620/2007

9. Bibliografía

Libros

[AOT 1996]

The AOT “**Handbook, Calgon Carbon Oxidation Technologies**”, 1996.

[Ame, 1999]

American Water Works Association Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, Water Research Commission of South Africa “**Tratamiento del agua por procesos de membrana: principios, procesos y aplicaciones**”. McGraw-Hill Interamericana de España

[Aur, 1996]

Hernández Muñoz, Aurelio. “**Depuración de aguas residuales**”. Madrid. Ed. del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y puertos. 1996.

[Aur, 1997]

HERNÁNDEZ, Aurelio. “**Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas Residuales**”. Ed.Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos, servicios de publicaciones- colección Escuelas.,1997.

[Aur, 2004]

Hernández, Aurelio, GALAN, Pedro. “**Manual de depuración Uralita. Sistemas de depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes**”. Ed. Paraninfo, 2004.

[Bat 1983]

José G. Batanero Bernabeu. **“Tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras”** Ed MOPU/CEDEX 1983.

[Bon 1997]

R.G. Bond, C.P. Straub **“Handbook of enviromental control, Vol IV: Wastewater treatment and disposal”**Ed CRC Press. 1997.

[Can, 1998]

Canter, Larry W. **“Manual de evaluación de impacto ambiental: Técnicas para la elaboración de estudios de impacto”**. Madrid. Mc. Graw Hill, 1998.

[Ced, 2006]

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). **“XXIV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras”**. Centro de Estudios Hidrográficos2006.

[Cor, 2000]

Cortacans Torre, Juan Antonio. **“Fangos activos: eliminación biológica de nutrientes”**. Madrid.Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2000.

[Deg, 2007]

Degrémont. **“Water treatment handbook”**. Paris. Ed. Lavoisier, 2007.

[Edu, 1995]

Ronzano, Eduardo. *“Tratamiento biológico de las aguas residuales”*. Bilbao. Ed. Mundi-Prensa, 1995.

[EPA 1998]

US/EPA **“Handbook of Advanced Photochemical Oxidation Processes”**
EPA/625/R-98/004 1998.

[Iña, 2001]

Tejero, Iñaki, Suárez, Joaquín, Jácome, Alfredo, Temprano, Javier. **“Introducción a la ingeniería sanitaria y ambiental”**. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

[Isl, 2005]

Isla de Juana, Ricardo. **“Proyectos de plantas de tratamiento de aguas”**. Bellisco Ediciones. 2005.

[Liz 1994]

Jose M^a Sala Lizarraga. **“Aspectos termodinámicos, tecnológicos y económicos”**
Ed. Servicio Editorial Universidad del País Vasco. 1994

[Mcg 2008]

William T. McGivney, Susumu Kawamura. **“Cost estimating manual for water treatment Facilities”** Ed. John Wiley & Sons, Inc.. 2008

[Met, 1996]

Metcalf - Eddy. ***“Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales”***. Barcelona. Ed. Labor, 1996.

[Meh 2002]

Meherwan P. Boyce. “handbook for cogeneration and combined cycle power plants” Ed. American Society of Mechanical Engineers Press.2002

[Ort 2007]

Enrique Ortega de Miguel, Yasmina Ferrer Medina, Juan José Salas Rodríguez, Carlos Aragón Cruz, Álvaro Real Jiménez. “Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2007

[Per, 1992]

Perry, Robert H. Perry ***“Manual del Ingeniero Químico”***. Méjico. Mc. Graw-Hill / Interamericana deMéxico S.A., 1992.

[Ram, 1996]

Ramallho, R.S. ***“Tratamiento de aguas residuales”***. Barcelona. Ed. Reverté, 1996.

[Ran 1992]

Randal, C.; Barnard, J.; Stensel, HD. ***“Design and Retrofit of Wastewater”*** 1992

[Sed 1991]

Sedlak, R. Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater:

Principles and practice. 2° Ed., Richard I. Sedlak Editions. 1991

[Sun, 2000]

Dar Lin, Shun. **“Water and Wastewater calculations manual”**. Ed. Mc Graw Hill, 2000.

[WEF 1992]

WEF, ASCE **“Desing of municipal wastewater treatment plants.”** Ed Book Press 1992.

Articulos Tecnicos

[Cul 1978]

Culp, Russell L.; Wesner, George Mack; and Culp, Gordon L., 1978. *“Handbook of Advanced Wastewater Treatment”*Ed. Van Nostrand Reinhold Co., 1978.

[Eli 2013]

Xavier Elias **“Secado y aprovechamiento energético de fanfos de EDAR”**
Tecnoaqua ;Mayo-Junio 2013

[EPA1993]

Enviromental Protection Agency **“Nitrogen Control Manual”** Ed. EPA. 1993

[EPA 1974]

Environmental Protection Agency “**Phosphorus Removal Manual**” Ed. EPA. 1974

[EPA 1983]

Environmental Protection Agency “**Municipal Wastewater Stabilization**” Ed. EPA. 1983

[Oru 2010]

Fernando Orús Pueyo, María Rosa Yagüe Carrasco, Francisco Iguácel Soteras
“Uso de los estiércoles en la fertilización agrícola, y su justificación en relación con la normativa aragonesa” Ed. Diputación General de Aragón. Departamento de agricultura y Alimentación. Dirección General de Desarrollo Rural. Servicio de Programas Rurales. 2010

[VILL]

“Iniciación a las tecnologías de aguas” Marcos Villamediana

Paginas o documentos WEB

[WAI]

[http://www.scana.com/sce%26g/business_solutions/technology/ewtwair.htm].

[WDE]

[<http://www.aguasin.com/category/areas/05-L/desinfeccion/oa.php>]

[WPR]

[es.wikibooks.org/Wiki/Ingenieria_de_aguas_residuales/Pretartamiento]

[WGE]]

www.gewater.com

[WAS]

www.absgroup.com.es

[WLE]

www.lenntech.es

[WIT]

www.itt.com

[WVE]

www.veoliawater.com

[WGR]

www.grundfos.es

[WAB]

www.abb.com/

Otros

[COU]

Coutex “**Catalogo**”

[DE 91/271]

Directiva Europea 91/271/CEE “**SOBRE EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS**”

10. Listado de Tablas

TABLA 1: OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO UTILIZADOS PARA ELIMINAR LA MAYORÍA DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AGUA RESIDUAL.[MET, 1996]	13
TABLA 2: DESCRIPCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE DESBASTE EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES [MET, 1996]	19
TABLA 3: VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS DE ARENA	22
TABLA 4: PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES EN DESARENADORES	27
TABLA 5: TIPOS DE SEDIMENTACIÓN	33
TABLA 6: PRINCIPALES PROCESOS BIOLÓGICOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL[MET, 1996].....	46
TABLA 7: PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES.....	56
TABLA 8: MÉTODOS DE TRATAMIENTO Y EVACUACIÓN DE FANGOS [MET, 1996]	87
TABLA 9: ESPESAMIENTO DE FANGOS	89
TABLA 10: ETAPAS DIGESTIÓN.....	95
TABLA 11: FERMENTACIÓN ACIDA	96
TABLA 12: FERMENTACIÓN ALCALINA	96
TABLA 13: EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL FANGO Y EL Tr SOBRE EL FACTOR CARGA DE SÓLIDOS VOLÁTILES	99
TABLA 14: CARACTERÍSTICAS ALIVIADERO POZO DE REGISTRO EN LA EDAR DE VERÍN ...	113
TABLA 15: CARACTERÍSTICAS ALIVIADERO OBRA DE LLEGADA DE LA EDAR DE VERÍN.....	114
TABLA 16: CARACTERÍSTICAS POZO DE GRUESOS EDAR VERÍN	114
TABLA 17: CARACTERÍSTICAS DESBASTE GRUESO EDAR VERÍN.....	115
TABLA 18: CARACTERISTICAS REJA AUXILIAR EN DESBASTE GRUESO EDAR VERÍN.....	116
TABLA 19: CARACTERÍSTICAS DESARENADOR EDAR VERÍN	118
TABLA 20: CARACTERÍSTICAS DESENGRASADOR EDAR VERÍN.....	119
TABLA 21: CARACTERÍSTICAS BOMBEO DE AGUA BRUTA EDAR VERÍN	120
TABLA 22: CARACTERÍSTICAS TAMIZADO EDAR VERÍN	122
TABLA 23: CARACTERÍSTICAS DOSIFICACIÓN CLORURO FÉRRICO EDAR VERÍN	125
TABLA 24: CARACTERÍSTICAS ZONA ÓXICA TRATAMIENTO BIOLÓGICO EDAR VERÍN	126
TABLA 25: CARACTERÍSTICAS ZONA ANÓXICA EDAR VERÍN	127
TABLA 26: CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS	128
TABLA 27: CARACTERÍSTICAS DECANTADOR SECUNDARIO EDAR VERÍN	130
TABLA 28: CARACTERISTICAS MEDIDOR SALIDA DECANTADOR EDAR VERÍN.....	131
TABLA 29: CARACTERÍSTICAS VERTEDERO DE SALIDA EDAR VERÍN	132
TABLA 30: CARACTERÍSTICAS COLECTOR EMISARIO DE SALIDA EDAR VERÍN	132
TABLA 31: CARACTERÍSTICAS POZO DE BOMBEO EDAR VERIN.....	134

TABLA 32: CARACTERÍSTICAS RECIRCULACIÓN LICOR MEZCLA EDAR VERÍN	135
TABLA 33: CARACTERÍSTICAS BOMBEO FANGOS EN EXCESO EDAR VERÍN	136
TABLA 34: CARACTERÍSTICAS BOMBEO DE FANGOS ESPESADOS EDAR VERÍN	137
TABLA 35: CARACTERÍSTICAS DESHIDRATACIÓN CENTRIFUGA EDAR VERÍN	139
TABLA 36: CARACTERÍSTICAS PREPARACIÓN POLIELECTROLITO EDAR VERÍN	139
TABLA 37: CARACTERÍSTICAS DOSIFICACIÓN POLIELECTROLITO EDAR VERÍN	140
TABLA 38: ANALÍTICAS INFLUENTE EDAR VERÍN	147
TABLA 39: VALORES PROMEDIO Y PERCENTIL 95 ANALÍTICAS INFLUENTE EDAR VERÍN ...	149
TABLA 40: ANALÍTICAS EFLUENTE EDAR VERÍN	150
TABLA 41: CARACTERÍSTICAS GENERALES EDAR VERÍN.....	154
TABLA 42: INVERSIÓN COGENERACIÓN.....	219

11. Listado de Figuras

ILUSTRACIÓN 1 ESQUEMA PRETRATAMIENTO ^[WPR]	14
ILUSTRACIÓN 2: OBRA DE LLEGADA EDAR PINEDO.....	15
ILUSTRACIÓN 3: ESQUEMA DE POZO DE GRUESOS ^[WPR]	16
ILUSTRACIÓN 4: CUCHARA BIVALVA.....	17
ILUSTRACIÓN 5: ESQUEMA DESBASTE	19
ILUSTRACIÓN 6: REJA AUTOMÁTICA ^[COU]	20
ILUSTRACIÓN 7: DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL	24
ILUSTRACIÓN 8: DESARENADOR DE FLUJO VERTICAL.....	24
ILUSTRACIÓN 9: DESARENADOR DE FLUJO INDUCIDO.....	25
ILUSTRACIÓN 10: DESARENADOR/DESENGRASADOR	28
ILUSTRACIÓN 11: ESQUEMA TRATAMIENTO PRIMARIO.....	30
ILUSTRACIÓN 12: DECANTADOR PRIMARIO	32
ILUSTRACIÓN 13: CAMPANA DE REPARTO	35
ILUSTRACIÓN 14: PUENTE DECANTADOR	35
ILUSTRACIÓN 15: VERTEDERO DE SALIDA	36
ILUSTRACIÓN 16: PARTES DECANTADOR PRIMARIO	37
ILUSTRACIÓN 17: DETALLE BIOLÓGICO EDAR VERIN	42
ILUSTRACIÓN 18: CURVA DE DEMANDA DE CLORO.....	59
ILUSTRACIÓN 19: SEPARACIÓN DE PARTICULAS SEGUN SU TAMAÑO	67
ILUSTRACIÓN 23: ESQUEMA	97
ILUSTRACIÓN 25: ESQUEMA LÍNEA DE FANGOS Y BIOGÁS.....	103
ILUSTRACIÓN 26: ESQUEMA DIGESTIÓN DE FANGOS.....	108
ILUSTRACIÓN 27: FILTRO BANDA.....	109
ILUSTRACIÓN 28: CENTRIFUGA.....	111
ILUSTRACIÓN 29: RECIRCULACIÓN DE FANGOS EN TRATAMIENTO BIOLOGICO.....	167
ILUSTRACIÓN 30: GRASAS A LA SALIDA DEL DESNATADOR	169
ILUSTRACIÓN 31: ESQUEMA SISTEMA DE AIREACIÓN ACTUAL EDAR VERÍN.....	173
ILUSTRACIÓN 32: ESQUEMA SOLUCIÓN PROPUESTA PARA LA AIREACIÓN EDAR VERÍN....	174
ILUSTRACIÓN 33: VARIADORES DE FRECUENCIA POWER ELECTRONICS	177
ILUSTRACIÓN 34 ESTADO BARANDILLAS EDAR VERÍN	179
ILUSTRACIÓN 35: PASOS A SEGUIR TRAS LA DIGESTIÓN.....	184
ILUSTRACIÓN 36: DIGESTIÓN.....	186
ILUSTRACIÓN 37: GASÓMETRO	190
ILUSTRACIÓN 38: MOTOR COGENERACIÓN	196
ILUSTRACIÓN 39: ESQUEMA FUNCIONAMIENTO MOTOR COGENERACIÓN	197
ILUSTRACIÓN 40: ESQUEMA FUNCIONAMIENTO MICROTURBINA	198

ILUSTRACIÓN 41: QUEMADOR GAS EN EXCESO	200
ILUSTRACIÓN 42: BALANCE ENERGÍA MOTOGENERADOR	212
ILUSTRACIÓN 43: BALANCE ENERGÍA MICROTURBINA.....	214
ILUSTRACIÓN 44:AMORTIZACIÓN INVERSIÓN CON MOTOGENERADOR	220
ILUSTRACIÓN 45: AMORTIZACIÓN INVERSIÓN CON MICROTURBINA.....	221
ILUSTRACIÓN 46: COMPARACIÓN DE LA INVERSIÓN MOTOGENERADOR VS. MICROTURBINA	222
ILUSTRACIÓN 47: COMPARACIÓN AHORRO ENERGÉTICO MOTOGENERADOR VS. MICROTURBINA	223